

19CTAP
-C142966
-02

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개() 발간등록번호()
국토교통기술촉진연구(R&D)사업 최종보고서

R&D / 19CTAP-C142966-02

항공교통관제 / 관리 체계 선형연구 최종보고서
복합현실 (Mixed Reality) 기술 적용에 의한 4D

2019

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

복합현실(Mixed Reality) 기술을 활용한 4D 항공교통관제/관리 체계 선형연구 최종보고서

2019. 12. 31.

주관연구기관 / 세종대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

‘복합현실(Mixed Reality)기술을 활용한 4D 항공교통 관제/관리 체계 선행연구’(연구개발 기간 : 2018. 04. 17 ~ 2019. 12. 31) 과제의 최종보고서 5부를 제출합니다.

2020. 01. 07.

주관연구기관명 : 세종대학교 산학협력단 (대표자) 백 성 욱 (인)
협동연구기관명 : (대표자) (인)
참여기관명 : (대표자) (인)



주관연구기관책임자: 이 종 원

협동연구기관책임자:

참여기관책임자:

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	1615010612	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. ~ 2019.12.31	단계구분	2/2
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구(R&D)			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	복합현실(Mixed Reality)기술을 활용한 4D 항공교통관제/ 관리 체계 선행연구			
	세부과제명				
연구책임자	이종원	해당단계 참여연구원 수	총: 9 명 내부: 9 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:220,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:220,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 17 명 내부: 17 명 외부: 명	총 연구비	정부:370,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:370,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	세종대학교 산학협력단			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약문

연구의 목적 및 내용	항공교통관제 및 관리(ATC/M: Air Traffic Control/Management)에서 제공하는 정보들을 관제사에게 효과적으로 전달하는 사용자 인터페이스(UI: User Interface)에 대한 연구를 진행, 복합현실(MR: Mixed-Reality) 기술과 비행궤적 시뮬레이션을 활용한 4D ATC/M 체계의 구현 가능성에 대한 검증을 목표로 한다. ATC/M 운영자 요구도 조사와 분석을 통하여 이를 충족하기 위한 MR 기반 차세대 관제체계의 목표성능(성능 요구도)을 결정하며, Eurocontrol의 항공기 성능 데이터인 BADA(Base of Aircraft Data)를 기반 한 유·무인기 비행궤적 통합 시뮬레이션 엔진을 개발하여 과거는 물론 실시간과 미래의 항공기 비행궤적에 대한 예측 시뮬레이션 기능을 첨부함으로써 관제사의 직관적 관제 판단을 유도하는 MR 기반의 관제정보 사용자 인터페이스를 설계하고 시연한다. • 웨어러블 환경 지원 MR 가시화 • 관제사의 관제 판단 지원을 위하여 유·무인 항공기 비행궤적의 실시간 및 고속(real-time/fast-time) 4D 시뮬레이션 엔진 개발 • MR 기반 관제체계 개념설계 검증을 위한 시범시제 개발				
연구개발성과	• 항공기 비행궤적 4D 시뮬레이션 엔진 • MR 기반 관제체계 개념설계 검증을 위한 시범시제 • MR환경 기반 인터랙티브 공간 구축방안 연구 및 설계 • Unity3D 엔진을 활용한 X-Plane 샘플데이터 변환 연구 및 모델링 • 홀로렌즈 디바이스 기반 실시간 인터랙티브 환경 구축 • 현 관제 업무현장에서 사용되는 음성명령 정의 및 적용 • Holographic 메뉴를 통한 인터랙션 방식을 통한 사용자 경험 향상 • 전문가 대상 최종 시제 평가 진행				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• ATC/M 연구에서 직관적 판단에 도움을 주는 UI로 사용 • 새로운 관제절차, 공항, 활주로 등의 설계 시 가상시뮬 툴로 사용 • 공항 주변의 대기오염, 소음 등의 환경문제 연구 시 가상시뮬 툴로 사용 • 항공 선진국과 대등한 수준에서 협력관계를 설정함으로써 국가 이미지 제고 • 4차 산업혁명의 화두인 MR 기술에서 타 국가와 근접한 수준의 기술력 확보 • 타 시뮬레이션 교관석에 MR ATC 기능을 제공하여 보다 효율적인 교육 및 훈련 툴로 사용				
국문핵심어 (5개 이내)	항공교통관제 및 관리	복합현실	비행궤적	항공기 성능데이터	사용자 인터페이스
영문핵심어 (5개 이내)	ATC/M (Air Traffic Control/Manage ment)	Mixed Reality	Flight Trajectory	BADA (Base of Aircraft Data)	UI (User Interface)

< 목 차 >

1. 연구개발과제 개요	4
가. 연구개발 목적	4
나. 연구개발의 필요성	5
2. 연구수행내용 및 성과	6
가. 연구 범위 및 연구수행 방법	6
나. 연구개발 추진전략·방법 및 추진체계	7
다. 연구 내용 및 연구결과	10
1. 관제사 대상 선행연구	10
2. 시나리오 설계	12
3. 시뮬레이션 엔진 개발	18
4. 웨어러블 디바이스 기반 시스템 개발	47
5. UI/UX 설계	50
6. 검증	52
라. 연구개발 성과	70
마. 연구결과	72
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	75
4. 연구개발성과의 활용 계획	78
가. 추가연구의 필요성	78
나. 타 연구에의 응용	78
다. 기업화 추진 방안 등을 기술	79

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제 개요

가. 연구개발 목적

○ 본 연구는 ATC 관제사들에 대한 실시간 관제 지원과 ATM 전문가들의 항공기 비행궤적 분석을 위한 미래형 타워 관제체계 개념의 제시와 시범시제 제안을 목적으로 “항공기 비행궤적 4D 시뮬레이션 엔진이 포함된 MR 기반 관제체계 시범시제”를 개발한다. 혼합현실 기술 측면에서 실제 세계와 가상 정보 간의 정합도와 응답속도에 대한 정량적 목표성능은 다음과 같이 정의한다.

- 영상 정합도: 수직, 수평(가로, 세로) 평균 1.5 픽셀 이하
- 응답속도: 100msec 미만

○ 본 연구의 최종 성과물은 다음과 같다.

- 1) 복합현실(MR: Mixed Reality) 기반 미래 관제탑(ATC Tower) 관제체계의 목표 성능 설정(중간보고서 1건)
- 2) 관제사의 관제 판단 지원을 위하여 유·무인 항공기 비행궤적의 실시간 및 고속(real-time/fast-time) 4D 시뮬레이션 엔진 개발(소프트웨어 1건, 해외 학술지 논문 1건)
- 3) MR 기반 콘텐츠 저작 및 뷰어 소프트웨어 개발(소프트웨어 1건, 해외 학술지 논문 1건)
- 4) 웨어러블 환경을 지원하는 MR 가시화 소프트웨어 개발(소프트웨어 1건)
- 5) MR 기반 관제체계 개념설계 검증을 위한 시범시제 개발(특허출원 1건, 시제품 1건, 최종보고서 1건)



그림 1. MR 기반 관제체계 개념설계 검증을 위한 시범시제 구성도

나. 연구개발의 필요성

미래의 항공교통관제(ATC: Air Traffic Control) 시나리오는 교통량의 단순 증가뿐만이 아니라 관제 요원들 간 새로운 형태의 협업과 조정을 내포한다. 국제민간항공기구(ICAO: International Civil Aviation Organization)는 항공 안전을 위해 IT 기술을 활용한 관리 방식으로 전환하는 노력을 진행하고 있다. IT 기술의 도입은 전체 항공교통관리(ATM: Air Traffic Management)를 운용하는 다수의 요원들에게 지금보다 더 많은 정보를 제공하게 될 것이다. 인간공학에서 제시하듯 과도한 양의 데이터는 새로운 형태의 업무 배분을 의미하며 새로운 협업 전략을 기대한다. 즉, 미래의 항공교통은 ATC/M 업무를 담당하는 관제사들은 역동적인 환경에서 발생하는 수많은 정보를 유동성과 안정성, 보안을 유지하며 실시간으로 분석하여 판단을 내리게 되므로 기존 ATC/M 방식의 변화가 필요하다.

ATC는 컴퓨터 지원을 통한 다중 모드의 협력 업무라 할 수 있는데 항공기 데이터의 실시간 시각화와 함께 음성통신과 같이 다양하고 구조화되지 않은 복합 데이터의 처리가 포함된다. ATC의 주목적은 항공기 간의 안전거리를 유지하고 중단 없는 교통 흐름을 유지하는 것이다. 전 세계적으로 매년 꾸준히 증가하는 ICAO의 항공수요 예측에 따라 미래의 항공교통은 지금보다 훨씬 복잡해질 것이고 ATC/M 업무도 한층 가중될 것이다.

결국, 국가 공역에서의 ATC/M의 역할이 중요한 현시점에서 미래의 항공교통을 대비하기 위하여 다양하고 복잡한 운항 데이터들을 관제사에게 효과적으로 제시하기 위한 연구와 개발이 필요하다.

이러한 상황에서 미래의 항공교통을 대비하기 위하여 Mixed Reality와 같은 기술을 활용해 새로운 해법을 제시할 수 있다. 4차 산업혁명의 요소기술 중의 하나로 부각되고 있는 Mixed Reality는 가상현실과 실제 현실에서의 한계를 극복하기 위한 기술이다. 광범위한 산업 분야에 접목시켜 새로운 가능성을 내재한 Mixed Reality 기술은 사용자에게 실제 세계에 정보를 증강하여 제공할 수 있다는 점과 실시간으로 상호작용이 가능한 매체로서 새로운 사용자 경험을 제공할 수 있다. 이러한 특성에 따라 본 연구는 정보 전달에 효과적인 Mixed Reality 기술을 활용하여 관제사의 작업 흐름 개선과 지원을 목적으로 하는 ‘Mixed Reality 기반 항공관제 시스템’을 제안한다. 시스템을 통해 복잡한 운항 데이터를 효과적으로 제공함에 따라 관제사의 효율적인 업무를 기대할 수 있다. 본 시스템은 공항 주변의 대기오염 및 소음과 같은 환경문제 또는 안개, 돌풍과 같은 기상악화 등으로 인한 저시정 상황에서 예측하지 못한 관제 업무상 장애의 대안으로 활용할 수 있다.

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구 범위 및 연구수행 방법

연구 범위	연구수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
관제사 대상 선행연구	관제사 대상 설문 진행	· 제주공항 관제탑 현장 방문 · 샘플 데이터 추출 및 관제사 대상 설문 진행
시나리오 설계	사고사례 조사	· 실제 비정상 비행의 해외, 국내 사례 조사 및 분석
	관제사의 자문을 통한 시나리오 설계	· 전문가의 자문을 얻어 사건 발생 경우 관제사가 수행하는 절차를 분석하고 시나리오를 설계함.
시뮬레이션 엔진 개발	MUSE	· 가상 항공기의 비행궤적 생성을 위하여 상용 항공기 동역학적 모델링화
	기본모델 설계	· 항공기 모델 설계 · 실행 및 제어 프로그램 설계
	배경 항공기 설계	· ADS-B · 배경 항공기 비행궤적 생성
	무인 항공기 비행궤적 생성	· 쿼드콥터 모델링 · 무인 항공기 제어 · 혼합현실 시뮬레이션 · 혼합현실 인터페이스 · 결과
웨어러블 디바이스 기반 시스템	ATC/M 시스템 설계	· 테이블 고정형 시스템 개발 · 비상 상황 기반 시나리오 적용 및 인터랙션
	제주공항 scenery Modeling	· Unity 3D 엔진을 이용한 제주공항 모델링
	ATC/M 시스템 개발	· 실시간 지원을 위한 Server - Client 서버 구축
UI/UX 설계	시나리오 기반 사용자 인터페이스 설계	· 음성명령 지원 · 홀로 그래픽 메뉴 지원
검증	비행궤적 검증	· 시뮬레이션 엔진에서 추출한 가상의 비행궤적과 ADS-B 데이터를 이용한 실제 항공기의 비행궤적 비교
	MR 기반 시각화 시스템 검증	· 1차 전문가 평가 및 피드백 · 2차 전문가 평가 및 피드백

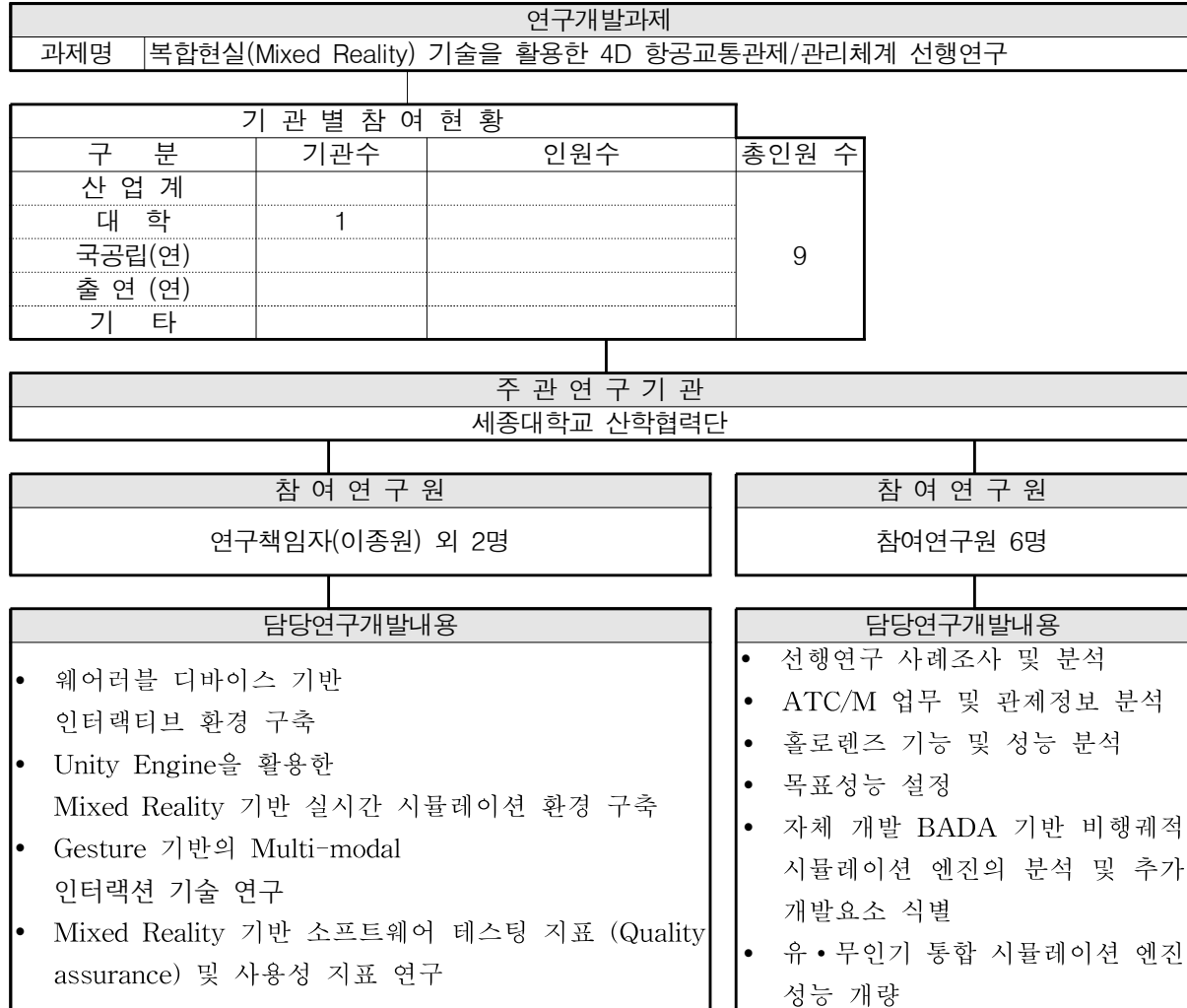
나. 연구개발 추진전략·방법 및 추진체계

1. 연구개발 추진전략·방법

-
- 1차년도에 진행된 MR 기반 차세대 ATC/M의 UI/UX 선행연구사례를 기반으로 정립한 연구개발의 방향과 목표성능을 기존의 선행 연구결과인 "BADA 기반 항공기 비행체적 S/W"를 성능을 향상시켜 당 연구개발에 접목하였다. 또한, 기존의 MR 연구에서 수행된 가상 개체와 실사 영상의 정합기술을 3차원 홀로그래픽으로 확장하여 연구개발을 추진함
 - Gesture 기반 Multi-modal NUI/NUX 인터랙션 기술에 대한 사전 연구를 진행하고, 실제 관제탑에 방문하여 UX Research 이론을 적용, 관제사 업무 프로세스에 최적화된 인터랙션을 개발하기 위한 기초설계 및 초기 개발을 진행하였다. 개발된 초기 버전으로 실제 관제사 대상 사용성 테스트를 진행하며 피드백을 받는 등의 사용성 연구를 수행함
 - 소수의 전문가 집단을 대상으로 초기 시스템에 대한 의견을 받고 이를 반영하여 음성 명령 및 홀로그래픽 메뉴를 지원하여 이전보다 직관적인 인터랙션이 가능하다. 이 기술들을 MR 기반 차세대 ATC/M의 시범시제 개발에 적용함
 - 혼합현실 기술기반 시스템에 대한 내/외부 품질평가를 위해서는 적합한 평가지표에 대한 연구가 필요하다. 내부 품질평가를 위해서는 실제 ATC/M에 적용할 수 있는 실용적인 차세대 ATC/M 체계의 구현 가능성을 검증을 위해 MR 기반 평가지표를 개발하고 동적 테스트를 수행하여 내부 품질을 평가하고 수치화하였다. 또한, 총체적인 만족도인 외부 품질평가는 전문가 집단을 대상으로 사용자 경험 중심의 사용성 평가 항목을 구체화하여 측정함
 - 실제 데이터를 적용한 웨어러블 디바이스 기반 실시간 인터랙티브 환경 구축을 수행하였다. 관제탑 내의 지정된 사용자 위치에서 실시간 관제가 가능하도록 하였다. 이때 사용자가 처한 환경을 고려해 관제업무의 필수 정보를 선별 및 판단하여 실시간으로 시각화하여 관제에 도움을 주는 시스템으로서의 역할을 수행함
 - 기존의 데이터를 3차원 데이터로 시각화하는 과정에서 실제 관제사의 피드백 반영이 필수적이다. 관제업무에 있어 고려되어야 하는 여러 가지 요소들을 파악하여 가공하는 방법에 대한 연구를 진행함
-

2. 연구개발 추진체계

○ 연구수행 체계도



3. 연구개발 추진 일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
총괄															
주관	세종대학교 산학협력단	1	1-1	1-1-①	홀로렌즈 SDK 분석										
				1-1-②	오브젝트 위치/자세 정보 및 시점 처리 알고리즘 분석										
				1-1-③	지형지물 DB 형식 분석										
				1-1-④	음성통신 형식 분석										
			1-2	1-2-①	Unity 엔진을 활용한 MR 기반 시뮬레이션 환경 개발										
			1-3	1-3-①	웨어러블 환경 UI/UX 설계										
				1-3-②	입력신호 처리 드라이버 개발										
		2	2-1	2-1-①	자체 개발 BADA 기반 유·무인기 통합 시뮬레이션 엔진의 MR 기반 ATC/M 체계 성능요구도 충족여부 분석										
				2-1-②	추가 개발요소 식별										
				2-1-③	추가 S/W 컴포넌트 개발										
				2-1-④	MR 기반 ATC/M 체계와의 인터페이스 개발										
		3	3-1	3-1-①	VR/MR 적용 ATC/M 관련 선행연구 사례조사 및 분석										
				3-1-②	마이크로소프트의 HoloLe ns를 활용한 MR 연구사례 조사 및 분석										
				3-1-③	관제탑 관제정보(날씨, 운항정보, 지형지물, 항법통신, 자료 등) 조사 및 분석										
				3-1-④	대상공항 및 관제구역 선정										
				3-1-⑤	해당 관제 레이더들의 출력신호 내용 및 형식조사 및 분석										
				3-1-⑥	MR 기반 ATC/M 체계 형상 결정										
				3-1-⑦	날씨, 운항정보(AIP) 등의 관제정보 DB 구축										
				3-1-⑧	DTED를 이용한 지형·지물 DB 구축										
				3-1-⑨	관제사 UI 설계 및 개발										
				3-1-⑩	Unity 기반 ATC/M 시뮬레이터 개발										
				3-1-⑪	S/W 컴포넌트 설계 및 개발										
				3-1-⑫	S/W 및 H/W 컴포넌트 통합										

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
				3-1-(⑬)	Flightradar24 데이터를 이용한 시험평가										
				3-1-(⑭)	관제사들을 대상으로 한 시험시제 운용시험 및 평가										
				3-1-(⑮)	MR콘텐츠 기반 품질평가 연구 및 지표 개발										

다. 연구 내용 및 연구결과

1. 관제사 대상 선행연구

제주국제공항의 교통 관제사를 대상으로 현 관제 시스템의 문제점, 보완 사항 등의 도출을 위한 설문 조사를 진행했다. 관제탑에 방문한 시점을 기준으로 하여 설문에 응할 수 있는 관제사를 대상으로 설문 조사를 수행했다. 충분하지 않은 참여자를 감안하여 심층 면접에 적합한 질문들을 선정해 설문지를 구성했다. 설문에 응답한 참여자들은 평균 40세의 남자 4명, 여자 1명으로 구성되었으며 피험자의 업무 종사 연수는 평균 16.2년이다.

설문지는 대체적으로 다음과 같은 내용으로 구성했으며 자세한 설문 결과는 하단에 제시한다. [표 1]

- 관제사의 기본적인 업무 절차와 업무에 참고하는 비행 정보 파악
- 관제사가 업무를 수행하는 중 당면하는 문제점과 그에 따른 업무 절차, 대처 방안 파악
- 비상 상황 업무 절차 및 내용 파악
- 현 관제 시스템에 대한 문제점 파악
- 제안하는 시스템에 대한 요구도 조사

표 1. 관제사 대상 설문 조사 결과

질문	응답 결과
담당 직무에 대하여 구체적으로 기술해주세요.	P1) 미응답 P2) 비행장 관제 구역 내 항공기 충돌 방지, 흐름 관리, 질서 유지 P3) 항공기 이, 착륙 관제, 지상 관제 P4) 항공기 분리, 비상 항공기 관제, 수색 및 구조 협조 업무, 계류장 관제, 국지 관제 업무,

	허가 중계 업무 P5) 항공기간 안전분리, 착륙 항공기 순서배정 원활한 흐름 조절										
관제 업무 수행 중에 곤란한 일이나 문제점의 대략적인 발생 횟수를 1개월 단위로 응답해주세요.	참여자 평균 월 4.6회										
발생한 곤란한 일 또는 문제점에 대하여 구체적으로 기술해주세요.	P1) 악 기상으로 인하여 항공기들의 착륙이 어려운 상황에서 관할 구역 내의 항공기 간 안전분리를 확보하는 것이 어려움 P2) 개방 항공기가 완전한 활주로 이탈을 하지 않고 정지하여 다른 항공기에 영향을 미치는 일 P3) 항공기가 엉켜 흐름이 원활하지 않는 일 P4) 조종사 반응시간 및 기동시간이 지체가 되어 다른 항공기에 영향을 미치는 일 P5) Radio 불량, Radar 데이터 부정확										
곤란한 일 또는 문제점에 대한 심각성은 어느 정도 입니까?	<table><tr><td>전혀 심각하지 않음</td><td>심각하지 않은 편</td><td>보통</td><td>심각한 편</td><td>매우 심각함</td></tr><tr><td></td><td></td><td>P1</td><td>P2, P4, P5</td><td>P3</td></tr></table>	전혀 심각하지 않음	심각하지 않은 편	보통	심각한 편	매우 심각함			P1	P2, P4, P5	P3
전혀 심각하지 않음	심각하지 않은 편	보통	심각한 편	매우 심각함							
		P1	P2, P4, P5	P3							
상위 문제로 인해 우려되는 점은 무엇입니까?	P1) 악기상으로 인한 안전분리 지장으로 인한 사고 가능성, Blind Area로 인한 활주로 오진입 (Rwy incursion) 가능성 상승 P2) 지상에서의 항공기 이동 병목 현상 P3) 활주로 침범으로 인한 사고 P4) 항공기 수용능력 초과로 인한 관제사 업무 부담 상승 P5) Radar 데이터 신뢰도 저하로 인한 사고 가능성										
곤란한 일 또는 문제가 발생하였을 때 재발을 최소화 하기 위해 어떠한 노력을 기울이십니까?	P1) 관제탑/관제소 전체 근무자 회의 소집 및 교육 P2) 해당 근무석별 회의 소집 및 교육 관제탑/관제소 각 직무별 전체 팀장 회의 소집 관제탑/관제소 전체 근무자 회의 소집 및 교육 P3) 관제탑/관제소 전체 근무자 회의 소집 및 교육 P4) 유관기관 통보 P5) 장비 담당자에게 통보 및 처리 요청										
재발 방지를 위한 회의 소집 및 교육은 어떠한 방법이 적합하다고 생각하십니까?	P1) 회의테이블에서 상황 재연, 논의 또는 교육을 실시 P2) 회의테이블에서 상황 재연, 논의 또는 교육을 실시 P3) 근무 장소에서 문제가 발생된 지점을 보면서 논의 또는 교육을 실시 P4) 장비 지원이 우선										

	P5) 문제가 발생된 장소를 직접 방문하여 논의 또는 교육을 실시
업무 중 주로 참고하는 비행정보는 무엇입니까?	항공편 명, 항공기 기종, 위치, 속도, 고도, 방위 (Heading), Squawk Code, 항공기, 도착공항, 충돌경보
업무 중 음성으로 의사소통의 문제점을 보완하기 위해 Text등의 시각적인 정보를 제공한다면 귀하의 업무에 도움이 될 것이라고 생각하십니까?	P1) 상당한 도움이 될 것 - 발음 및 억양의 차이로 인해 다르게 해석될 여지가 있음 P2) 보통이다 - 의사소통의 문제를 시각적 정보로 풀어낼 수 없는 경우가 많음 P3) 도움이 되지 않을 것 이다 - 시선이 분산되면 안전에 좋지 않음 P4) 보통이다 P5) 보통이다
저시정 상태에서 업무를 어떻게 수행하십니까? 평상시와 다른 부분이 있다면 기입해주세요.	P1) 강풍, 윈드시어에는 적극적인 정보제공 항공기간 분리 간격 확대 등의 조치를 취함 P2) 한 번에 적은 수의 항공기를 관제하려고 하며 안전 분리 기준을 엄격하게 적용 P3) 활주로 등화 - 밝게 조정, 지상 이동 절차를 엄격하게 함 P4) 항공기간 분리 간격 확대 P5) 항공기간 분리 간격 확대, 장비의 신뢰성이 낮아 관제사의 경험을 바탕으로 운영
저시정 상태에서 가상의 실시간 정보를 제공한다면 업무에 도움이 될 것이라고 생각하십니까?	P1) 도움이 안 됨 - 위치, 고도에 따른 바람 등의 정보를 알 수 있다면 조종사들에게 필요한 정보를 줄 수 있을 것 P2) 도움이 될 것 - 장비의 신뢰성이 낮아 새로운 장비 개발의 필요성이 높음 P3) 상당한 도움이 될 것 - 현실 시나리오를 90% 이상 구현한다면 상당한 도움이 될 것 같음 P4) 상당한 도움이 될 것 같음 - 관제사가 사용하는 모든 데이터가 한 화면에 표출이 된다면 엄청난 도움이 될 것이다. P5) 보통이다.

2. 시나리오 설계

가. 사고사례 조사

실제 비정상 비행 사례를 조사한 후 이를 바탕으로 시나리오를 설계하였다. 이러한 비정상 상황에는 사고와 준사고가 있으며 사고의 경우 심각한 인명피해나 기체 손상이 따르는 경우이고 준사고의 경우는 항공기사고 이외에 항공기사고로 발전할 수 있었던 경우를 이야기한다. 해외에 대한 사건은 미국 연방교통안전위원회(NTSB; National

Transportation Safety Board)의 보고서를 열람하였으며 국내에 대한 사건은 대한민국 국토교통부 항공·철도사고조사위원회의 보고서를 열람하여 분석하였다. [그림 2]



그림 2. 항공사고 보고서 (NTSB, 국토교통부)

사례 분석 과정에서 항공기사고/준사고 사건들을 ‘지상 활주 중 발생,’ ‘이륙/착륙 중 발생,’ ‘비행 중 발생’으로 분류하였다. 분석 결과 ‘비행 중 발생’에 해당하는 경우가 가장 빈번했지만, 회전익항공기의 경우를 제외하면 ‘이륙/착륙 중 발생’에 해당하는 경우가 가장 많았다.

나. 시나리오 설계

관제사의 자문을 얻어 각 사건의 경우가 발생하였을 때 관제사들이 수행하는 절차를 분석하여 시나리오를 만들었다. 그 후 시나리오를 통합하여 주 시나리오와 부 시나리오를 설계하였다. 주 시나리오의 경우, 외부 이물(FO; Foreign Object) 충돌 후 엔진 고장에 의한 회항으로 선정하였다. 여기서 일반적으로 기체를 손상시키는 물체는 보통 조류이지만 미래지향적인 과제 특성에 맞춰서 UAV에 의한 충돌로 대체하였다. 물론 이와 같은 위험 때문에 현재에는 공항 주변에서의 UAV 비행을 철저하게 금지하고 있으나, UAV 시장의 성장 때문에 추후에는 유인항공기와 무인항공기의 혼합공역화가 이루어 질 수 있다고 예상된다.

연구 도중에 설계한 시나리오와 유사한 회항 준사고가 일어난다. 2019년 9월 11일 에어부산8092 항공편은 제주에서 김포로 향하다가 이륙한지 얼마 되지 않아 엔진 이상을

감지하여 기수를 제주로 돌리게 된다. 문제 항공기의 비행 패턴이 시나리오에 적합하고 비교적 최근에 일어난 사건이기 때문에 이 사건을 기반으로 시나리오에 대한 상세 설계를 실시하였다.



그림 3. ABL8092편 비행궤적

문제 항공기를 포함하여 상황 전후로 제주공항을 출발하는 가상항공기 8대와 도착하는 가상항공기 8대를 포함하였다. 개발 편의를 위해 활주로를 이용하는 순서에 따라서 홀수 번호는 출발 항공기에, 짝수 번호는 도착 항공기에 부여하였으며 총 1번부터 21번까지 설정하였다. 이때 편명은 모두 위의 회항준사고 사건 주위에서 비행했던 항공기들로 짓게 되었다. 문제 상황이 일어나면 문제 항공기는 제주공항의 장주 궤도(Traffic Pattern)를 따라 한 바퀴 비행한 후에 접근을 시도할 것이다. 이 과정에서 관제사는 효율적인 활주로 운용을 위하여 항공기들 간 거리 및 속도를 조절할 것이다. 따라서 문제 항공기가 장주 궤도의 최종접근단계에 접근할 때 바로 앞선 두 항공기는 빠른 착륙을, 뒤따르는 두 항공기는 지연 착륙을 지시하도록 한다.

표 2. 시나리오 편명

항공기번호	도착(착륙)	출발(이륙)
1		JNA562
3		ABL8092(Emergency)
4	TWB707	
5		JNA584
6	JJA601	
7		JJA108
8	ESR209(Expedite)	
10	KAL1901(Expedite)	
3	ABL8092(Emergency)	
11		JJA142
12	JJA851(Hold)	
13		KAL1216
14	KAL1005(Hold)	
18	KAL1213(Hold)	
19		JJA504
20	JNA309	
21		TWB904

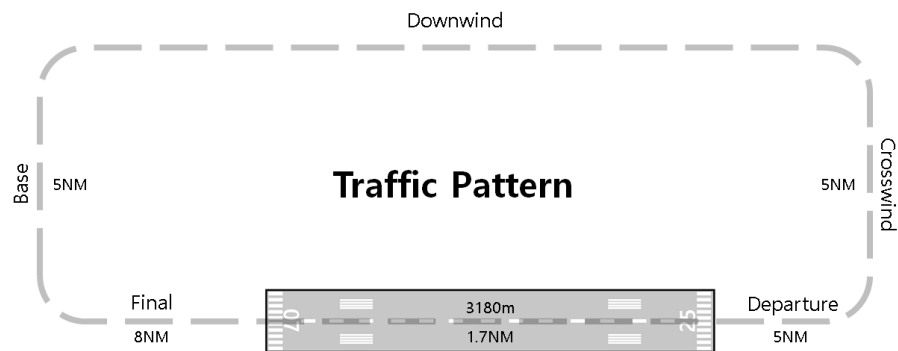


그림 4. 제주국제공항 장주 궤도 예시

문제 항공기가 착륙하는 시점에 대한 개략적인 시간은 운동학(kinematics)적인 관점으로 계산하였다. 활주로를 달려 이륙한 항공기는 departure leg, crosswind leg, downwind leg, base leg, final leg를 거쳐 다시 활주로에 착륙하게 된다. Departure leg, downwind leg, final leg에서는 각각 안전상승속도(V_2), 장주 속도, 착륙 속도($1.2V_{stall}$)로 등속운동을, crosswind에서는 가속운동을, base leg에서는 감속운동을 한다고 가정한다. 제주 노선에는 일반적으로 대형기종은 투입하지 않으므로 fuel-dump 등의 기타 절차를 수행하는 데에 걸리는 시간은 없다고 가정하였다. 계산을 통해 지상 가속부터 지면 접지

(touchdown)까지 대략 13.9분이 소요됨을 알 수 있었다. 동일 활주로 상의 항공기에 대하여 2분 혹은 3분 이상의 시간 분리를 수행해야 하므로 이륙부터 착륙까지 6대의 항공기가 활주로를 사용하게 하였다.

표3. 문제 항공기 시나리오 장주 비행

순서	시간	ABL8092	RWY07
1	+0:00	Take-off	ABL8092
2	+2:00	Departure leg	TWB707
3	+4:00	Crosswind leg	JNA584
4	+6:00	Downwind leg	JJA601
5	+8:00		JJA108
6	+10:00	Base leg	ESR209
7	+12:00	Final leg	KAL1901
8	+14:00	Land	ABL8092

설계한 시나리오를 구현하기 위해서 실제 공역환경에서 어떠한 방식으로 비행이 이루어지는지 알아야 한다. 일반적인 경우 모든 비행기는 모든 비행단계에서 각각의 절차도에 따라 비행한다. 이때 조종사들이 참고해야하는 자료는 국토교통부 항공정책실에서 28일 주기로 발간하는 항공정보간행물(AIP; Aeronautical Information Publication)이다. 공항에서 이륙하여 출발하는 항공기는 출항절차인 SID(Standard Instrumental Departure)차트를, 공항 공역 밖에서는 항로지도인 EN-ROUTE차트를, 공항의 공역으로 도착하는 항공기는 도착절차인 STAR(Standard Arrival)차트를, 그리고 공역 도착 후 공항에 착륙하는 항공기는 접근절차인 APCH(Approach)차트를 보며 따라간다.

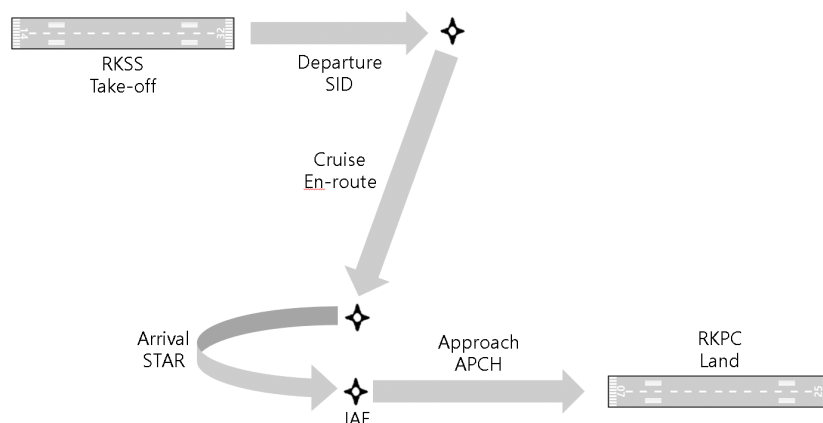


그림 5. 비행 구간 별 해당 AIP차트

이와 같이 일반적인 상황에서는 모든 항공기가 입·출항 절차에 따라 비행하므로 가상항공기의 비행궤적을 만드는 일은 어렵지 않다. 하지만 시나리오의 내용과 같이 특수한 상황이 생겨 관제사가 개입하게 되면 관제사의 관제명령에 따라 비행궤적이 실시간으로 변화해야 한다. 관제사의 임무에는 다양하지만, 그 중에서 직선비행(direct flight)과 레이더유도(radar vector) 절차에 대해서만 모의하기로 하였다.

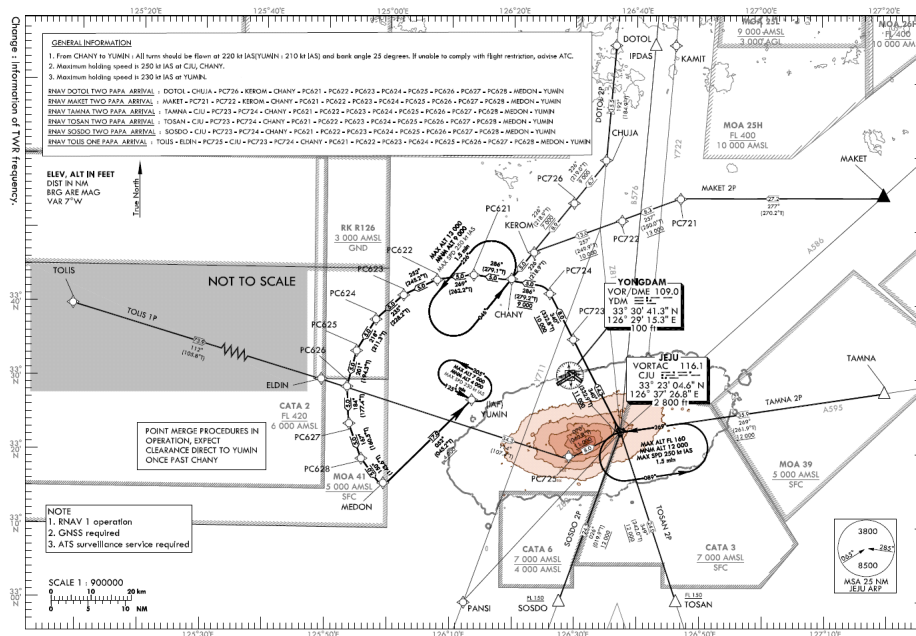


그림 6. 제주국제공항 STAR 절차도

직선 비행 관제는 절차도 상의 waypoint를 따라가는 항공기에게 몇몇의 waypoint를 무시하고 특정 waypoint로 바로 갈 수 있게 해주는 관제방법이다. 일반적으로 공역이 상대적으로 여유가 있을 때 활주로를 효과적으로 활용하기 위해서 사용한다. 제주국제공항의 도착절차에 따르면 공항으로 도착하는 모든 비행기는 CHANY waypoint로부터 MEDON waypoint까지 원호를 그리며 비행한 후 IAF(Initial Approach Fix; 개시접근지점)인 YUMIN waypoint로 향하여 접근절차를 수행한다. 실제 경우, 원호의 마지막 지점인 MEDON waypoint까지 비행하는 일은 흔치 않고 앞쪽에 교통량이 적은 경우 원호 중간 지점에서 YUMIN waypoint로 바로 갈 수 있도록 관제를 하는 것이 일반적이다. 직선비행 허가 시 관제사들이 실제로 사용하는 지시의 예는 다음과 같다. 여기에서는 관제사가 이스타항공 209편에 YUMIN 지점에서의 직선비행을 허가한다.

“Easter Jet two-zero-niner, direct to YUMIN”

직선비행 허가 관제를 구현할 때에 있어서 가장 큰 어려움은 항공기가 어느 시점에 있

을 때 관제사가 명령을 줄지 모른다는 것이다. 따라서 원호 시작과 끝점인 CHANY와 MEDON 사이에 있는 8개의 waypoint에서 YUMIN 지점으로 비행하는 모든 경우의 수를 고려하여 각각의 비행궤적을 미리 추출하기로 하였다. 이 궤적들이 담긴 파일들을 데이터베이스화 하였다가 시나리오 도중에 관제사가 직선비행 허가를 내리면 시각화 장비가 현재 가상 항공기의 위치를 파악한 뒤 가장 가까운 waypoint에서 YUMIN으로 직선비행 하는 궤적을 불러오게 설계하였다.

레이더관제의 경우에는 직선비행 관제와 반대되는 상황에서 주로 사용한다. 주로 시나리오의 상황과 마찬가지로 특수한 사건이 발생하거나 교통량이 너무 많을 때 사용한다. 항공기에게 적절한 비행방향(heading)과 고도를 부여하는 방식으로 진행한다. 레이더관제 지시는 다음의 예시와 같은 명령을 사용한다. 관제사는 대한항공 1005편에 동쪽방향(90도)으로 좌선회하여 고도를 7000ft로 유지하라고 지시한다.

“Korean Air one-zero-zero-five, turn left heading zero-niner-zero, maintain seven thousand”

직선비행 허가 관제의 경우 발생할 수 있는 시나리오의 경우의 수가 유한한 것과 달리 레이더유도 관제의 경우에는 그 경우의 수가 무한에 가깝다고 할 수 있다. 따라서 이 경우에는 시나리오 기반의 시뮬레이션으로는 구현하는 데에 한계가 분명하여 실시간 통신을 이용한 방안을 모색하기로 하였다. 시연장치의 음성인식 기능을 통해 관제사의 음성 명령을 인식하고 이를 시뮬레이션 엔진으로 전송하는 방안을 제시하였다. 그러면 시뮬레이션 엔진에서는 관제 명령을 이용하여 새로운 비행궤적을 계산한 후 다시 그 궤적을 시연 장치로 보내기로 한다.

3. 시뮬레이션 엔진 개발

가. MUSE

가상 항공기의 비행궤적을 생성하기 위해서는 상용 항공기에 대한 동역학적인 모델링을 하여 그 해를 시뮬레이션 해야 한다. 이를 위해서는 다양한 항공기에 대한 공력데이터를 포함하여 다소 상세한 자료가 필요하다. 하지만 Boeing이나 Airbus를 포함한 대부분의 항공기 제작사에서는 항공기에 대한 정확한 제원을 공개하지 않고 있다. 따라서 일반적으로 항공기들에 대해 비행시험을 실시하여 그 성능데이터(performance data)를 얻은 후에 동역학적인 파라미터들을 역 추정 하는 방식을 주로 사용한다.

유럽항행안전기구 Eurocontrol은 항공교통관리 분야를 안전하게 수행할 수 있도록 1960년에 설립된 국제기구이다. 이 기구에서는 위에서 언급한 방식으로 군항공기와 민간 항공

기들의 성능데이터를 추출하고 데이터베이스화 시켜 공개하였으며 이를 BADA(Base of Aircraft Data)라고 칭하였다.

```

A320_ - 메모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC/
CC
CC      AIRCRAFT PERFORMANCE OPERATIONAL FILE      /
CC
CC      File_name: A320_ OPF      /
CC
CC      Creation_date: Apr 30 2002      /
CC
CC      Modification_date: Mar 30 2011      /
CC
CC===== Actype =====/
CD A320_      2 engines Jet      M      /
CC A320-231      with V2500 engines      wake      /
CC
CC===== Mass (t) =====/
CC reference      minimum      maximum      max payload      mass grad /
CD .64000E+02 .39000E+02 .77000E+02 .21500E+02 .43250E+00 /
CC===== Flight envelope =====/
CC VMO(KCAS)      MMO      MaxAlt      Hmax      temp grad /
CD .35000E+03 .82000E+00 .41000E+05 .33295E+05 -.3136E+03 /
CC===== Aerodynamics =====/
CC Wing Area and Buffet coefficients (SIM)      /
CCndrst Surf(m2)      Clbo(M=0)      k      CM16      /
CD 5 .12260E+03 .14041E+01 .79242E+00 .00000E+00      /
CC Configuration characteristics      /
CC n Phase Name Vstall(KCAS)      CD0      CD2      unused /
CD 1 CR CLEAN .14050E+03 .26659E-01 .38726E-01 .00000E+00 /
CD 2 IC 1 .11800E+03 .23000E-01 .44000E-01 .00000E+00 /
CD 3 TO 1+F .11210E+03 .33000E-01 .41000E-01 .00000E+00 /
CD 4 AP 2 .10510E+03 .38000E-01 .41900E-01 .00000E+00 /
CD 5 LD FULL .10130E+03 .96000E-01 .37100E-01 .00000E+00 /
CC Spoiler      /
CD 1 RET      /
CD 2 EXT .00000E+00 .00000E+00 /
CC Gear      /
CD 1 UP      /
CD 2 DOWN .38000E-01 .00000E+00 .00000E+00 /
CC Brakes      /
CD 1 OFF      /
  
```

그림 7. A320-231 OPF BADA

세종대학교 모델링&시뮬레이션 연구실에서는 2014년 BADA 데이터와 NASA의 무인기 성능데이터를 3자유도와 5자유도 각각의 운동방정식에 대입하여 미분방정식의 해를 구하는 시뮬레이션 엔진을 개발하였으며 MUSE(Manned and Unmanned air vehicle Simulation Engine)이라고 부르기로 하였다. MUSE에서 사용하는 BADA의 제공파일은 OPF(Operational Performance File)이다. 이 파일은 total energy method를 사용하는 데에 필요한 파라미터들로 구성되어있다.

MUSE-5DOF model (Manned & Unmanned Aircraft Simulation Engine) for ATC/M



Dept of Aerospace engineering
Modeling & Simulation Lab
Created by DongHyun Kim
Modified by Seho Park



그림 8. MUSE

MUSE 모델은 MATLAB Simulink 환경에서 구축하였다. 미리 waypoint를 지정하여 그를 따라 비행할 수 있도록 3자유도 해법을 사용한 모드와 수동 조종입력으로 비행할 수 있도록 5자유도 해법을 사용한 모드로 나누어진다. 입력 값을 받으면 PID제어기를 통해 모델을 구동하는 방식으로 구성되어있다. 모델은 1차 혹은 2차 상미분방정식으로 구성하여 뱅크각(bank angle), 받음각(angle of attack), 추력(throttle), 상승률(rate of climb)에 대하여 해를 구한다.

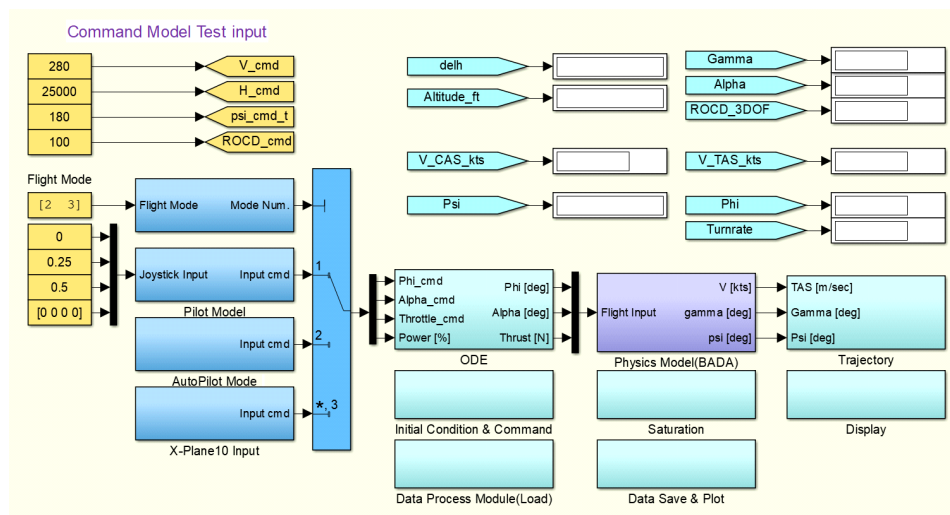


그림 9. MUSE의 구성

나. 기본 모델 설계

MUSE는 2014년 개발 당시 실제 항공기의 비행궤적을 이용하여 검증단계를 거쳤기 때문에 문제없이 다양한 연구과제에 응용하여왔다. 하지만 본 과제에 사용하기 위해서는 몇 가지 수정 및 개선이 필요하였다.

우선 MUSE는 Simulink 개발환경으로 구축한 바 있는데, 이 개발환경은 일반적인 스크립트 형태의 언어가 아니고 block선도를 이용하여 개발자에게 직관적인 개발을 가능하게 해준다. 하지만 사용자의 측면에서는 연산속도가 비교적 느린 문제가 있다. 스크립트 기반의 언어로 수정할 필요가 있었는데, 본 연구에서는 MATLAB m-file 형태로 수정하여 스크립트 언어로의 변환에 대한 가능성만 확인하였다. 추후에 C 혹은 C#으로 변환한다면 더욱 빠른 시뮬레이션이 가능할 것이라고 예상한다.

또한, MUSE는 한 번에 한 대의 항공기에 대해서만 시뮬레이션이 가능하다. 하지만 실제 공역 환경에서는 한 번에 많은 항공기들이 비행하므로 가상 항공기 복수화를 진행하였다. 이는 MUSE를 스크립트 언어로 변환하는 과정에서 모듈화 시켜서 그 모듈을 다른 제어 프로그램으로 시뮬레이션 하는 방식을 사용해야 한다. 이런 방식으로 각각의 가상 항공기들을 객체화시켜서 시뮬레이션 하는 방식을 사용하였다.

마지막으로 MUSE는 항공기가 공중에 떠있을 때에만 시뮬레이션이 가능하다. 이는 처음 MUSE를 설계할 때 목적이 비행 중인 항공기를 시뮬레이션하기 위함이었으며, 따라서 Simulink의 saturation block과 같은 다양한 제한치들이 설정되어있다. 또한 MUSE가 기본적으로 비행중인 항공기에 대한 BADA의 파라미터만을 사용하기 때문이기도 하다. 실제로 MUSE의 비행계획 모드를 이용하여 비행 궤적을 추출해보면 항공기가 적절히 비행을 시작하여 적절히 착륙하는 것처럼 보이지만 착륙하는 비행궤적을 확대해보면 활주로에 완전히 착륙하지 못하고 중간에 시뮬레이션이 종료된다는 점을 발견할 수 있다. 본 과제가 비행장관제를 포함하고 있으므로 이착륙 과정 및 지상 활주(taxi)를 모의하기 위하여 지상 활주 모델을 추가적으로 개발하였다.

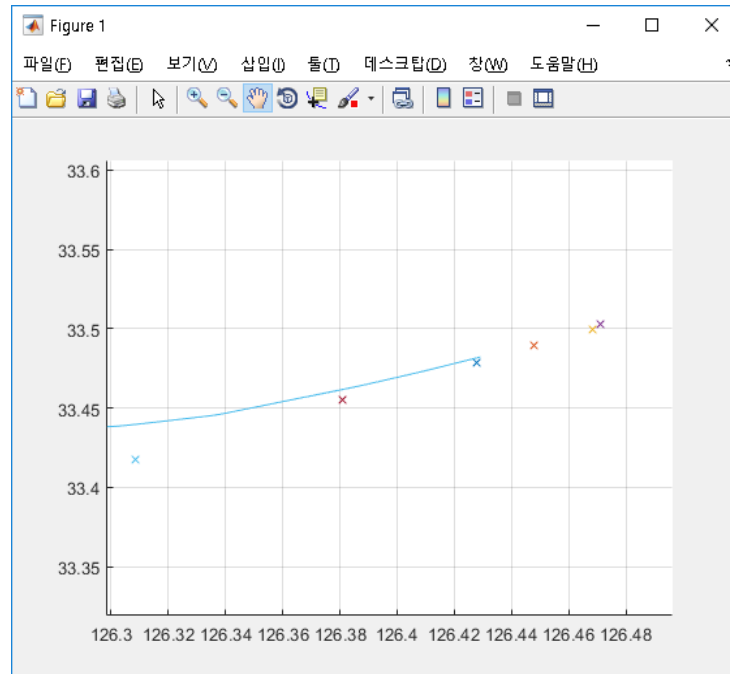


그림 10. MUSE를 이용한 착륙 비행궤적 예시

1) 항공기 모델 설계

한 번에 다수의 항공기에 대한 시뮬레이션을 실행하기 위하여 항공기 모델 설계 시 객체지향 언어를 사용하였다. MATLAB에서도 객체지향 언어를 유사하게 지원하여 그를 이용하여 작업을 하였다. 항공기 모델은 ‘데이터 로드 및 초기화’, ‘비행모델’, ‘지상모델’, 이렇게 3가지 모듈로 구성하였다. 이 중 스크립트 언어로 변환된 MUSE는 ‘비행모델’에 해당한다. 이 항공기 모델은 객체화하여 ‘Aircraft’라는 이름의 class로 정의하고 이를 다른 실행 및 제어 코드를 이용하여 구동시키는 방식으로 진행하였다.



그림 11. 전체 시스템 설계도

가) 데이터 로드 및 초기화

미리 지정된 waypoint들이 나열된 비행계획을 불러오고 시뮬레이션을 위하여 각종 변수들을 초기화하는 부분이다. 위치를 계산하기 위하여 위·경도 좌표에서 WGS84 좌표계의 ENU로의 변환이 필요한데 그 기준점을 제주공항 VOR/DME 장비의 위치로 하였다. 그 밖의 이번 시뮬레이션에 필요한 모든 변수에 초기 값 혹은 0을 입력하였고, 시뮬레이션 step은 0.1초로 설정하여 10Hz의 update rate를 이루도록 하였다.

나) 비행 모델 설계

MUSE를 변환하는 작업에서 스크립트 언어로의 변환과 객체화 작업, 이렇게 두 가지에 초점을 맞추어 진행하였다. 위에서 언급하였듯, 궁극적인 변환 작업은 객체지향 알고리즘 설계가 용이한 C# 언어로의 변환이지만, 본 연구과제에서는 MATLAB 스크립트로 변환하였다. 다만 추후 변환과정을 용이하게 하기 위하여 MATLAB 고유 함수들의 사용은 지양하였다.

항공기 물리 모델에 대한 미분 방정식 풀이를 위해서는 적분을 MATLAB 코드로 구현해야 했다. 변환 과정에서 적분기는 구분구적법을 사용하였다. 앞에서 정의한 step time마다 적분기 코드에 입력되는 값들이 구성하는 사다리꼴의 면적을 계산하여 출력하는 방식으로 설계하였다. 적분의 정확도를 높이기 위하여 선형 보간법을 이용하여 시뮬레이션의 step time보다 시간을 구분지어서 적분을 실시해보았다. 하지만 0.1초의 step time 범위에서는 유효한 차이를 보이지는 않았다.

```
function y_int = integration(y_old,y_new,dt,accumulation)

acc = 0.01; % accuracy
y_temp = 0;
dt_int = dt * acc;

X = [0, 1];
Y = [y_old, y_new];
Xq = [0:acc:1];
Yq = interp1(X,Y,Xq,'linear');

for i = 1 : 1/acc
    y_temp = (0.5 * dt_int * (Yq(i+1) + Yq(i))) + y_temp;
end

y_int = accumulation + y_temp;

end
```

그림 12. 적분기

비행계획에 따라 비행 목표가 설정되면 PID 제어기를 통하여 목표 값을 설정한다. 이때 제어기의 계수는 기존 MUSE에서 사용한 계수를 그대로 사용하였다. 시스템에 인위적인 지연을 부여하기 위하여 1차 혹은 2차 미분 방정식을 사용한다.

```
function this = ALPHA_ODE(this)
    this.alpha_dot_old = this.alpha_dot_new;
    this.alpha_dot_new = 2 * ((2 * this.alpha_cmd) - (1.2 * this.alpha_dot) - (2 * this.alpha));
    this.alpha_dot = integration(this.alpha_dot_old, this.alpha_dot_new, this.dt, this.alpha_dot);

    this.alpha_old = this.alpha_new;
    this.alpha_new = this.alpha_dot;
    this.alpha = integration(this.alpha_old, this.alpha_new, this.dt, this.alpha);
end
```

그림 13. 반응각에 대한 2차 ODE 풀이

BADA의 파라미터들을 이용하여 각종 제한 값과 물리 특성을 적용한 후에 3자유도 운동 방정식을 사용하여 비행 궤적을 추출한다. 수식들은 기존에 MUSE에서 사용한 수식들을 동일하게 적용하였다.

$$\dot{v} = \frac{T \cos \alpha - D}{m} - g \sin \gamma \quad (\text{수식 1})$$

$$\dot{\gamma} = \frac{(L + T \sin \alpha) \cos \phi}{mv} - \frac{g \cos \gamma}{v} \quad (\text{수식 2})$$

$$\dot{\psi} = \frac{(L + T \sin \alpha) \sin \phi}{mv \cos \gamma} \quad (\text{수식 3})$$

다) 지상 모델 설계

항공기 방향에 대한 방정식을 풀기 전에 MUSE에서 desired heading을 구하는 방식과 같은 방식으로 가야하는 course 값을 계산한다. 항공기의 진행 방향에 대한 방정식을 세우기 위하여 앞서 계산한 course 값으로 가기 위하여 조종사의 조종입력을 고려하였다. 조종사는 course로의 방향 전환을 위하여 rudder pedal을 발로 밟거나 tiller를 조작할 것이다. 이때의 조종 입력은 1차 시스템의 step response와 비슷한 경향을 보일 것으로 예측된다. 또한 조종 입력을 서서히 줄 것으로 예상하여 98% settling time을 대략 2초 정도로 가정하였다. $T_s = 4\tau$ 이므로 τ 값은 0.5로 정하였다.

```
function this = PSI_ODE(this)
    this.psi_taxi_old = this.psi_taxi_new; % Initially 0
    this.psi_taxi_new = 2 * (this.psi_cmd - this.psi_taxi);
    this.psi_taxi = integration(this.psi_taxi_old, this.psi_taxi_new, this.dt, this.psi_taxi);
end
```

그림 14. Taxing 중 방향 ODE

항공기가 지상에서 움직이는 상황을 높은 정밀도(fidelity)로 모의하기 위해서는 우선 조종사가 실제로 하는 것처럼 엔진 출력을 먼저 계산하고 그에 따라 속도를 구하고 옆 미끄러짐(slip) 및 지면효과(ground effect)를 모두 고려하여 변위를 계산하는 것이 기본적인데, 하지만 연구의 범위와 방향을 생각해보면 이 정도 수준의 정밀도를 요구하지 않는 데에다가 엔진 출력에 대한 속도로의 정확한 계산이 어렵기 때문에 비교적 간단한 방법으로 지상 활주 상황을 모의하였다.

우선 항공기 진행방향에 대한 속도는 일정하다고 가정하였다. 조종사의 엔진출력 변화는 즉각적으로 속도에 반영된다고 하였다. 그리고는 횡방향의 힘을 계산하여 이를 이용해서 속도를 구하였다.

$$F_y = -C\alpha \quad (\text{수식 4})$$

$$\alpha = \delta - \tan^{-1} \frac{l_x \psi + V_y}{V_x} \quad (\text{수식 5})$$

C 는 평행 상태의 타이어가 lateral 방향의 힘을 만드는 미분 값을 뜻하는 cornering stiffness를 의미하며, α 는 slip 각도를 의미한다. δ 는 nose gear의 조향각(steering angle)을 의미하고 l_x 은 무게중심으로부터 nose gear까지의 거리를 의미한다. 이때 무게중심은 항공기의 상태와 유사하중에 따라 변화하는데, 실제로 항공기 조종사들이 항공기의 무게중심을 계산하는 데에 사용하는 dry operating index 방법을 응용하였다. 제작사에서 공개하는 기준 무게중심을 기반으로 operation configuration에 따라 변화하는 무게중심점을 추정하는 방식이다.

$$DOI = \frac{DOW \times (H_{arm_{CG}} - Ref_{CG})}{1000} + 50 \quad (\text{수식 6})$$

DOW는 항공기의 무게, 필요한 액체(엔진오일, 연료, 물 등)의 무게, 각종 탑승 장비의 무게, 승무원의 무게를 합한 값이다.

표 4. Dry Operating Index

Configuration	DOW [kg]	DOI
2+0	42,344	48
3+0	42,429	47
4+0	42,514	46
2+4	42,904	50
2+5	42,979	51
3+4	42,989	48
3+5	43,064	49
4+4	43,074	47
4+5	43,149	48

A320의 경우 Ref_{CG} 값은 18.85m 이고 일반적으로 (2+4) crew operation이므로 DOI는 50이다. 이를 토대로 l_x 의 값을 추정해보면 11.24m임을 알 수 있다.

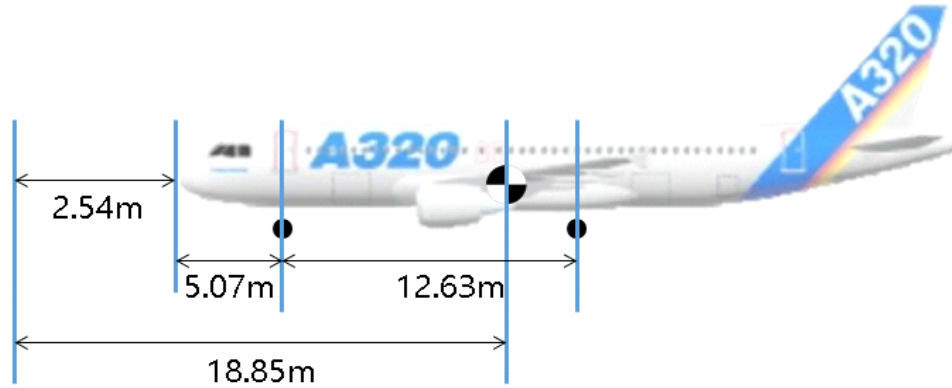


그림 15. 무게중심 추정

$$m\dot{V}_x = F_{x_{TL}} + F_{x_{TR}} - F_{x_L} - F_{x_R} - F_{x_N} \cos \delta - F_{y_N} \sin \delta - D \quad (\text{수식 7})$$

$$m\dot{V}_y = F_{y_L} + F_{y_R} + F_{y_N} \cos \delta - F_{x_N} \sin \delta \quad (\text{수식 8})$$

본래 힘 평형 방정식으로 각 성분의 속도 값을 계산해야 하지만 항공기 진행방향 즉 longitudinal 성분은 고정한다고 가정 했으므로 nose gear 부분만을 차용하여 계산에 사용하였다. 최종적으로는 다음의 식으로 NED 좌표에서 각 축의 성분을 분리하여 변위를 계산하였다.

$$\dot{x} = v \sin \psi \quad (\text{수식 9})$$

$$\dot{y} = v \cos \psi \quad (\text{수식 10})$$

2) 실행 및 제어 프로그램 설계

실행 및 제어 프로그램에서는 항공기 객체를 생성하고 항공기의 상태를 파악하여 기존의 MUSE 알고리즘이나 지상 활주 모델을 실행하여 객체들의 궤적을 생성하고 저장한다. 여러 가지 설정 값을 사용자로부터 입력으로 받고 이 시나리오가 이륙하는 항공기인지 착륙하는 항공기인지 분류한 후 적절한 시뮬레이션 모델을 반복하여 실행시키고 마지막으로 데이터를 저장하는 순서로 진행된다.

우선 시뮬레이션을 개시하기 위하여 이·착륙 시간, 항공기 번호, 시나리오 이름을 사용자로부터 입력받는다. 이·착륙 시간은 항공기의 time-stamp를 설정하기 위하여 필요한데, 항공기 궤적이 시작하는 시점이 기준이 아니고 이·착륙 시간이 기준인 이유는 시간분리 때문이다. 관제사는 하나의 활주로에 대해서 시간분리를 하여 이륙 혹은 착륙을 지시해야 하기 때문에 모든 시뮬레이션은 그 시간을 기준으로 실행하여야 한다. 항공기 번호는 프로그램 마지막의 데이터 저장단계에서 데이터 파일의 이름으로 항공기 번호를 사용하기 때문에 필히 사용자로부터 입력받는다. 시나리오 이름을 입력받으면 해당하는 시나리오를 불러들여 그 내용 가운데 고도의 처음과 끝 값을 읽게 된다. 그 값들을 기준 값들과 비교하여 이 시나리오가 출발하는 시나리오인지, 도착하는 시나리오인지, 혹은 상공을 통과하는 시나리오인지 구분한다.

표 5. 시나리오 구분 알고리즘

TO_L	Condition		Remark
	Initial	Final	
0	< 1000	> 5000	Departure/Take-off
1	> 5000	< 1000	Arrival/Landing
2	> 5000	> 5000	Passing Through
.	< 1000	< 1000	Error

시나리오를 구분하여 'TO_L'변수의 값을 설정하고 그 값에 따라 적절히 비행 모델이나 지상 모델을 호출한다. 우선 출발 시나리오에서는 지상 모델을 먼저 실행하고, 도착

시나리오이거나 통과 시나리오일 때에는 비행 모델을 먼저 실행한다. 또한 시뮬레이션 중에도 지속적으로 고도 값을 읽어서 그 값이 500ft를 초과하거나 그 밑으로 떨어진다면 그 다음 step부터는 각각 비행 모델과 지상 모델을 호출하여 실행한다.

시뮬레이션을 진행하는 동안 실행 및 제어 프로그램은 항공기 모델로부터 다음 waypoint까지의 거리 차이를 계속해서 읽어온다. 그러다가 그 값이 일정 임계 수치 안으로 들어오면 다음 waypoint를 다음 목표로 설정한다. 임계값은 1000m로 설정하였다.

직선비행 관제를 시뮬레이션에서 구현하기 위해 도착 절차에 있는 원호의 모든 waypoint에서 접근개시지점으로 비행하는 궤적이 필요하다. 따라서 목표공항에 도착하는 가상 항공기 궤적에 대하여는 실행 및 제어 프로그램에서 비행계획의 waypoint를 하나씩 지우면서 시뮬레이션을 반복하여 비행궤적을 생성하였다. 한 대의 항공기의 모든 궤적들은 시작시간이 모두 동일하며 직선비행을 통해 단축된 시간만큼 점차 짧아지는 종료시간을 갖는다.

데이터는 CSV 형식으로 시간, 위도, 경도, 고도, 속도, 방향을 저장하였다. 데이터 파일 이름은 시나리오 단계에서 부여한 항공기 번호로 하였으며 도착하는 항공기 궤적에 대해서는 그 뒤에 직선비행 관제명령을 받은 waypoint를 기입하였다.

다. 배경 항공기 설계

1) ADS-B

ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)는 트랜스폰더를 장착한 항공기가 자기의 비행정보를 다른 항공기 혹은 항공관제시스템에게 송신하는 시스템이다. 이때 송신하는 비행정보로는 자신의 호출부호, 위치, 속도, 방향, squawk code 등이 있다. 다른 항공기에 장착한 TCAS(Traffic Collision Avoidance System; 공중충돌방지장치)에서는 이 신호를 읽어서 공중충돌 위험이 있는 항공기의 정보를 조종사에게 제공하게 된다.

ADS-B 데이터를 이용하여 비행궤적을 생성하면 비교적 손쉽게 작업할 수 있고 실제 항공기가 비행한 궤적이기 때문에 특별히 검증 과정을 거칠 필요 없이 높은 fidelity를 갖는 비행궤적을 생성할 수 있다. 반면 데이터를 시나리오에 맞게 수정하기는 까다롭다. 문제 시나리오 상황에 영향을 끼치지 않는 가상 항공기의 비행궤적을 ADS-B 데이터를 사용하여 구현하였다.

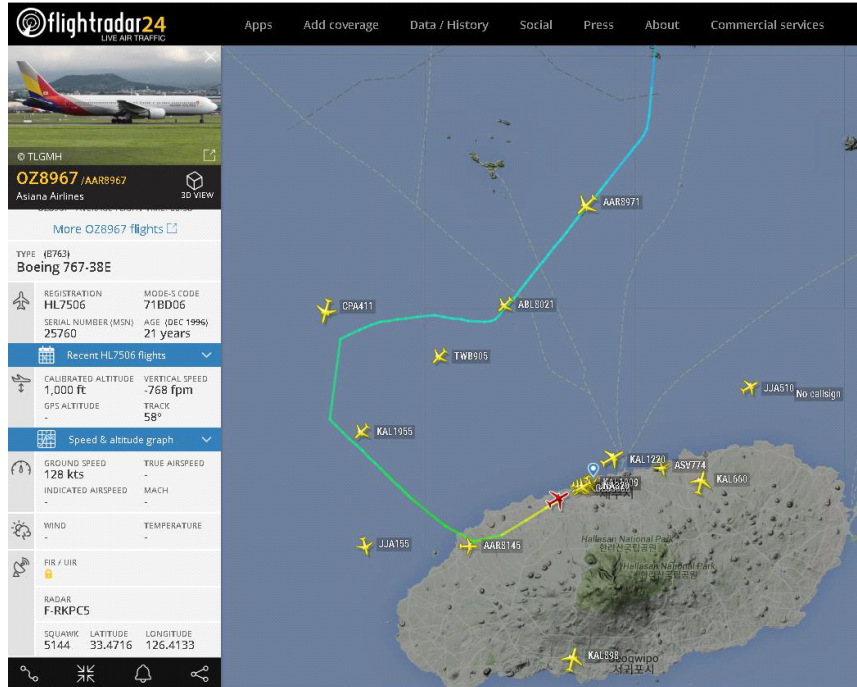


그림 16. ADS-B 데이터 열람 웹페이지

ADS-B 데이터는 특정 웹페이지에서 쉽게 열람할 수 있으며 특히 데이터를 다운로드 할 수도 있다. 받아볼 수 있는 데이터의 형태는 CSV(Comma Separated Value)와 KML(Keyhole Markup Language)가 있다. KML 형식의 파일은 Google Earth와 같은 상용 시각화 툴에 적합하지만 그 형태가 비교적 복잡하여 수정 및 변환이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 CSV 형식의 파일로 parsing 작업을 하여 원하는 형태로 변환하여 사용하기로 하였다.



그림 17. KML(위), CSV(아래) 파일의 예시

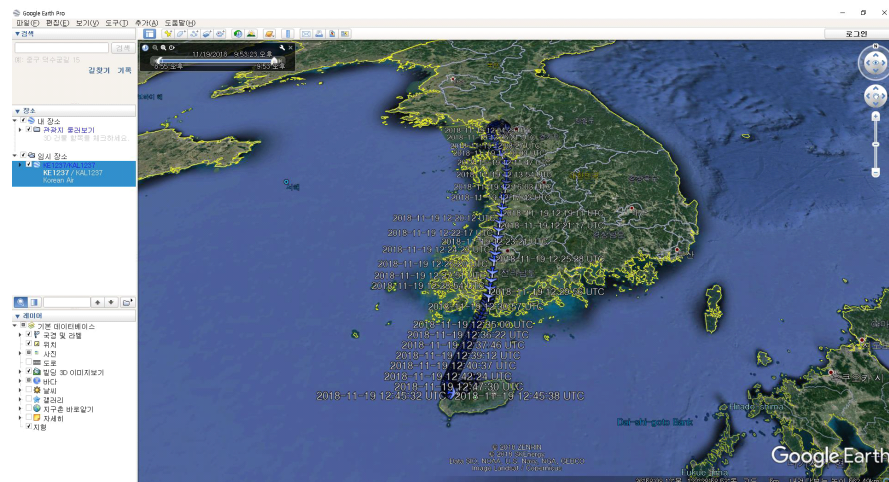


그림 18. KML 데이터를 적용한 Google Earth 화면

2) 배경 항공기 비행궤적 생성

CSV 형식은 각 시각 별 모든 변수들을 쉼표(,)로 분리하여 나타낸 데이터 형식이다. 데이터를 읽고 한 줄의 내용을 쉼표 기준으로 분리하여 각각의 변수에 저장하였다. 추출한 변수는 위도, 경도, 고도, 속도, 방향이다.

ADS-B 데이터는 실제 항공기가 이륙 전에 트랜스폰더를 켜 순간부터 착륙 후에 트랜스폰더를 끈 순간까지 모든 과정이 기록된다. 연구 범위가 제주도 지역만을 포함하기도 하고, 다른 가상 항공기들과의 시간차를 없애기 위하여 설정 지역 내의 데이터만 남기고 나머지는 삭제하게 하였다. 설정 지역은 STAR 절차도의 범위로 설정하였다.

ADS-B 시스템에서 항공기들은 본인의 위치를 대략적으로 20초에 한 번씩 송출한다. 심지어 이 간격도 굉장히 불규칙적이어서 빠를 때는 5초마다 송신할 때도 있지만 느릴 때는 그 간격이 3분 이상이 될 때도 있다. 이러한 이유로 이 데이터를 그대로 사용하여 시연을 하게 된다면 사용자 입장에서 항공기의 움직임이 부자연스럽고 이상하다고 느낄 것으로 예상된다. 실제로 ADS-B 열람 웹페이지를 봐도 항공기의 움직임이 부드럽지 못하고 툭툭 끊겨서 진행하는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 이를 해결하기 위해서 보간법(interpolation)을 사용하여 궤적을 부드럽게 처리하였다. MUSE의 시뮬레이션 step을 0.1초로 설정했으므로 ADS-B 데이터로 추출한 비행궤적도 그만큼의 연속성을 보장하기 위하여 20Hz로 설정하였다.

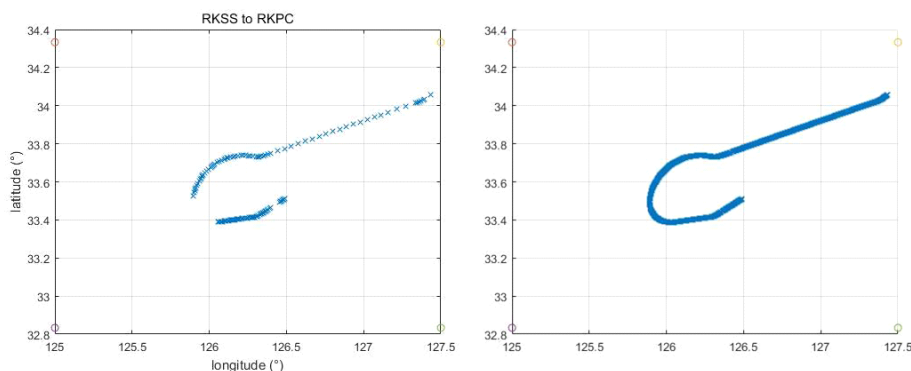


그림 19. Interpolation 전(왼쪽)과 후(오른쪽)

라. 무인항공기 비행궤적 생성

무인항공기(UAV; Unmanned Aerial Vehicle)는 무궁무진한 적용가능성 때문에 그 시장이 급증하고 있는 추세이다. 이전의 많은 연구에서도 활주로 점검, 항공기 및 차량 유도, 장애물 분석, 야생동물 감시(조류 통제), 보안, 응급대응, 건설 등과 같은 임무를 위

해 공항에서의 드론 활용에 대해 언급하고 있다. 이와 같이 미래에는 공항 공역 주변에서 무인항공기에 대한 운용이 가능해질 것이라고 판단하였다. 따라서 앞서 언급하였듯이·착륙 단계에서 흔하게 일어나는 비정상상황 중의 하나인 조류 충돌 대신에 무인항공기가 항공기와 충돌하여 긴급 회항하는 시나리오를 수립하게 되었다.

본 연구에서는 시연 상황에 맞는 비행궤적을 추출하기 위한 방안으로 공항 환경에서의 자동 무인항공기 시뮬레이션을 실시하였다. 더 나아가 다양한 무인항공기 시뮬레이션의 가능성을 살펴보고자 현실과 가상이 서로 실시간으로 상호작용하는 보다 넓은 범위의 혼합현실 시뮬레이션을 실시하였다.

1) 공항 환경 시뮬레이션

공항 환경에서 무인항공기 궤적을 추출하기 위해 Mission Planner와 X-Plane 비행시뮬레이터를 사용하였다. 여기서 Mission Planner는 지상통제소(GCS; Ground Control Station)로 사용하며 이를 통해 비행계획을 세우거나 자동비행을 위한 프로그램을 실행할 수 있다. X-Plane은 미국의 Laminar Research Company가 만든 컴퓨터 비행시뮬레이터 소프트웨어다.

가) 쿼드콥터 모델링

무인항공기 중에서 가장 널리 사용하는 것은 로터가 4개가 있는 쿼드콥터 형태다. 이 형상의 무인항공기는 성능도 좋을뿐더러 물리적으로 단순하여 모델링하기도 비교적 단순하다. 쿼드콥터는 작용하는 비행역학이 일반적인 비행기와는 차이가 있어서 에일러론, 러더, 엘리베이터와 같은 조종면이 아닌 오히려 로터의 회전속도로 비행상태를 제어한다. 여기서 일반적으로 2개의 로터는 시계방향으로, 나머지 2개의 로터는 반시계방향으로 회전하여 토크를 상쇄한다. 로터의 회전은 수직방향의 힘과 모멘트를 만들어내고 이를 적절히 조절하여 전체적인 비행을 한다.

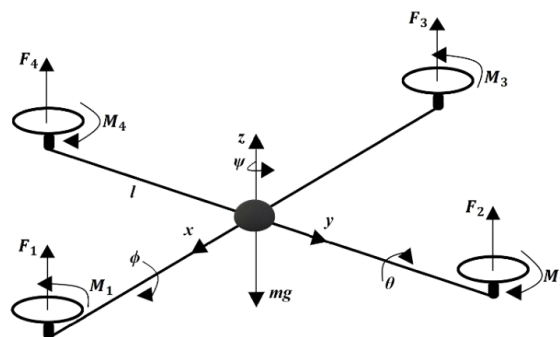


그림 20. 쿼드콥터 모식도

각각의 로터가 만들어내는 힘과 모멘트는 다음과 같으며 여기서 K_f 와 K_m 은 각각 로터의 추력계수와 토크계수다.

$$F_i = K_f \omega_i^2$$

$$M_i = K_m \omega_i^2$$

조종입력은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_f & K_f & K_f & K_f \\ -l_1 K_f - l_1 K_f & l_1 K_f & l_1 K_f & \\ l_2 K_f & -l_2 K_f & -l_2 K_f & l_2 K_f \\ -K_m & K_m & -K_m & K_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix}$$

쿼드콥터 무인항공기의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \ddot{\phi} = ((I_{yy} - I_{zz})\dot{\theta}\dot{\psi} + (u_2 - I_r\dot{\theta}\omega_r))\frac{1}{I_{xx}} \\ \ddot{\theta} = ((I_{zz} - I_{xx})\dot{\phi}\dot{\psi} + (u_3 - I_r\dot{\phi}\omega_r))\frac{1}{I_{yy}} \\ \ddot{\psi} = ((I_{xx} - I_{yy})\dot{\theta}\dot{\phi} + u_4)\frac{1}{I_{xx}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{u_1}{m}(\cos\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\phi\sin\psi) \\ \ddot{y} = \frac{u_1}{m}(\cos\phi\sin\theta\sin\psi - \sin\phi\cos\psi) \\ \ddot{z} = \frac{u_1}{m}(\cos\phi\cos\theta) - g \end{cases}$$

X-Plane에서 사용할 쿼드콥터 무인항공기 설계를 위하여 Plane Maker를 사용하였다. 엔진, 프로펠러, 동체, 팔, 랜딩기어(skid)를 Plane Maker 상에서 설계하였다. Plane Maker로 생성한 모델을 X-Plane의 제주국제공항 상공을 비행하게 하였다.

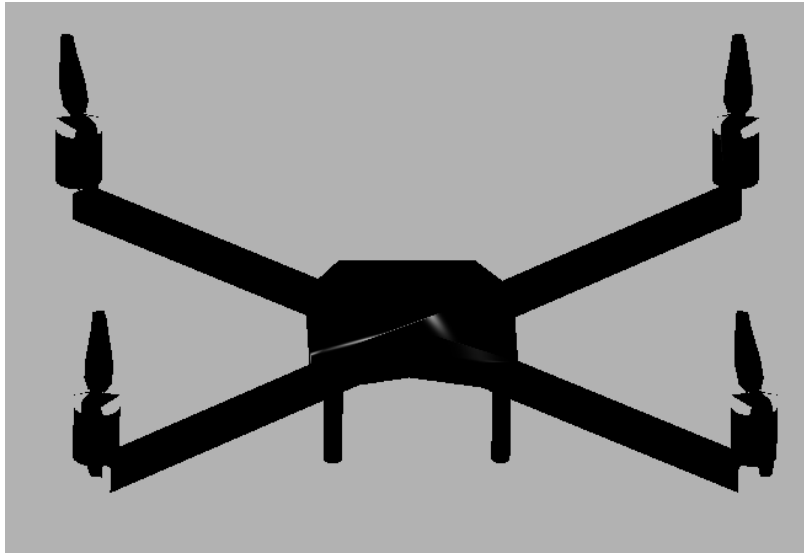


그림 21. Plane Maker 상의 쿼드콥터 모델



그림 22. X-Plane 제주국제공항에 배치한 쿼드콥터

나) 무인항공기 제어

쿼드콥터 무인항공기를 제어하기 위해서 Mission Planner를 사용하였다. 미리 waypoint를 설정하여 자동으로 비행할 수 있게 설정하였다. 하드웨어 없이 자동비행 (autopilot)을 하기 위해서 SITL(Software in the Loop)을 이용하였다. AuduPilot의 오픈 소스 코드를 Mission Planner에 입력하고 Mission Planner에서 자동비행을 위한 waypoint들을 설정하였다. 시각화를 위해서는 Mission Planner와 X-Plane를 연동시켜 미리 작성해둔 다양한 비행계획으로 자동비행을 시뮬레이션 하였다.

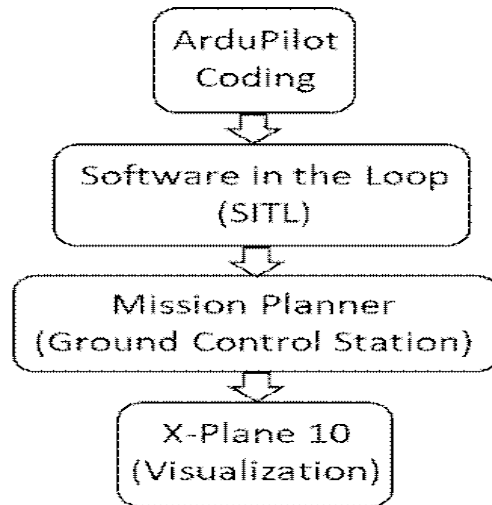


그림 23. 쿼드콥터 비행의 시뮬레이션 절차

다음은 미리 작성해 둔 비행계획에 따라 쿼드콥터 무인항공기의 자동비행을 시뮬레이션 한 결과를 각각 Mission Planner와 X-Plane 상으로 본 내용이다. 또한 X-Plane을 통해서도 제주 국제공항의 시너리를 적용하여 무인 항공기가 비행하는 모습을 시각화하여 살펴볼 수 있다.



그림 24. 07/25활주로 상의 비행궤적

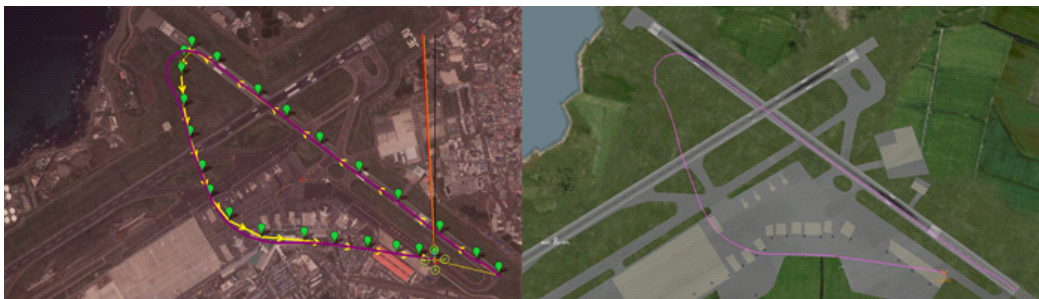


그림 25. 13/31활주로 상의 비행궤적



그림 26. 제주국제공항 상공에서 비행하는 쿼드콥터

2) 혼합현실 시뮬레이션

쿼드콥터 무인항공기와 X-Plane 비행시뮬레이터를 이용하여 새로운 혼합현실 시뮬레이션을 개발하였다. 시뮬레이션 플랫폼을 통해 실제 쿼드콥터 무인항공기의 생생한 비행을 볼 수 있도록 전반적인 개념에 대한 설계와 실시간 무인항공기 시뮬레이션 개발을 진행하였다. 이 시뮬레이션은 장기 임무를 수행하는 무인항공기에 대한 저 시정 문제를 해결할 수 있는 등 다양한 분야에서 응용할 수 있다고 기대하고 있다. 전반적으로 이 시뮬레이션은 완전한 가상 시뮬레이션 플랫폼과 완전한 실제 플랫폼으로 구성하여, 가상 플랫폼으로는 X-Plane을 사용하고 실제 플랫폼으로는 실제 비행장에서 운용하는 쿼드콥터 무인항공기를 포함한다. 위에서 언급하였듯 여기에서는 실제의 부분과 가상의 부분이 서로 실시간으로 상호작용한다는 보다 넓은 범위의 혼합현실에 대한 정의를 사용하였다. 가상과 실제의 상호작용을 위해서 X-Plane과 지상통제소(GCS; Ground Control Station) 사이의 통신 인터페이스를 설계하였다.

가) 가상 드론 설계

무인항공기에 대한 혼합현실 시뮬레이션을 구축하기 위해서는 실제로 운용할 수 있는 기체와 X-Plane으로 구성된 시뮬레이션 플랫폼 속 기체, 이렇게 2개의 쿼드콥터 무인항공기가 필요하다. 대상 기체로는 Spider FPV 450 쿼드콥터를 선정하였으며 이 모델에는 Pixhawk 비행 컨트롤러가 장착되어있다. X-Plane 가상환경에서 사용할 기체를 설계할 때에도 실제 Spider FPV 450 기체와 유사한 성능을 보여야하기 때문에 실제 기체의 제

원을 사용하여 설계를 진행하였다.



그림 27. Spider FPV 450

표 5. Spider FPV 450 제원

Quadcopter parameters	Values
Maximum altitude	1500 ft
Maximum speed	30 km/h
Rotor turn rate	4000-9000 RPM
Propellers dimension & pitch	10 3.8
Gross weight + battery	1.5 kg
Frame diagonal length	450 mm

실제 기체와 유사한 가상 쿼드콥터 무인항공기를 제작하기 위해서 Plane Maker라는 소프트웨어를 사용하였다. 설계에는 실제 기체의 비행 성능데이터를 사용하였다. 가상 모델을 설계하기 위해 엔진(모터), 프로펠러, 동체, 팔(arm), 랜딩기어(skid), 이렇게 5가지에 대한 설계를 진행하였다. Plane Maker는 설계과정에서 몇 가지 작업공간을 제공한다. Misc Bodies 작업공간은 두 개의 팔에 대한 설계에 사용한다. 본 연구에서는 각 팔의 각도가 45도를 이루는 'X' 모양의 디자인으로 설계하였다. Fuselage 작업공간에서는 카메라 홀더, 배터리, 백 프레임 파트를 설계한다. Engine Specs 작업공간은 모터와 프로펠러에 대한 설계를 진행하므로 굉장히 중요하다. 프로펠러의 피치(pitch) 및 길이, 최대 선회율, 모터 종류, 최대 동력을 설계하였다. Landing Gear 작업공간에서는 랜딩기어, 즉 스키드를 설계하며 모터 아래의 튜브 형태로 구현하였다.

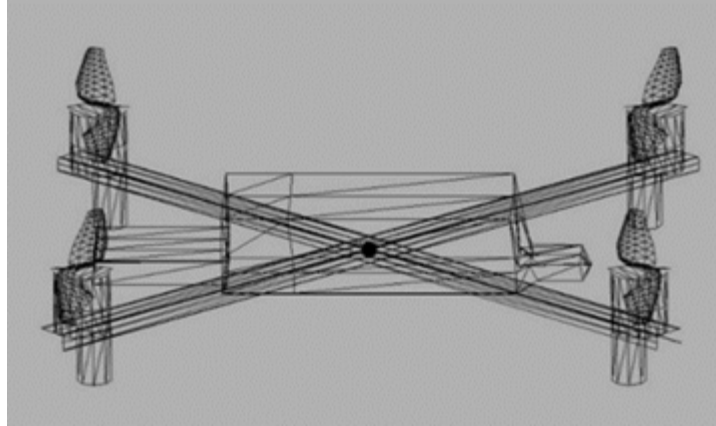


그림 28. 쿼드콥터 외형 설계

실제 기체와 비슷한 비행성능을 갖기 위해서는 무게 및 균형(weight and balance)의 측면도 고려해야 한다. 각 부품에 해당하는 정보들을 입력하였다. 마지막으로 X-Plane 상에서의 가시성을 높이기 위해 검은색으로 외형을 도색하였다.

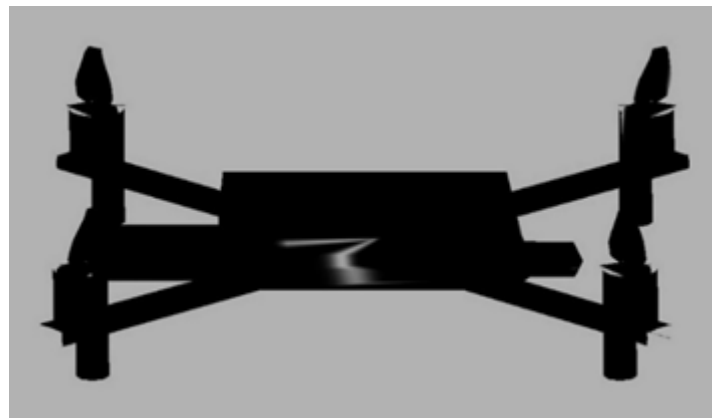


그림 29. 가상 쿼드콥터 모델 원성본

나) 가상 환경 설계

가상의 드론 모델을 개발하였다면 그 가상 기체를 운용할 환경이 필요하다. 완전한 혼합 현실 환경을 구축하기 위해서는 가상의 기체와 실제 기체가 모두 비행할 수 있는 장소를 선정하여야 한다. 따라서 서울 상공에서 비행할 수 있는 한강드론공원을 장소로 선정하였다.



그림 30. 쿼드콥터 비행장 선정

문제는 X-Plane 상에 해당 위치에 대한 시너리 정보가 없다는 것이다. 따라서 WorldEditor 소프트웨어를 사용하여 해당 장소에 시각적 참조가 가능한 외형들을 배치해야 했다. 알고 있는 위도, 경도, 방향 등, 몇 가지 파라미터로 활주로를 설계하였다. 위경도 좌표에 오차가 있다면 혼합현실 시뮬레이션 도중에 오류가 발생할 수 있으므로 가상의 장소가 실제 장소와 정밀하게 일치하는지 확인하였다.

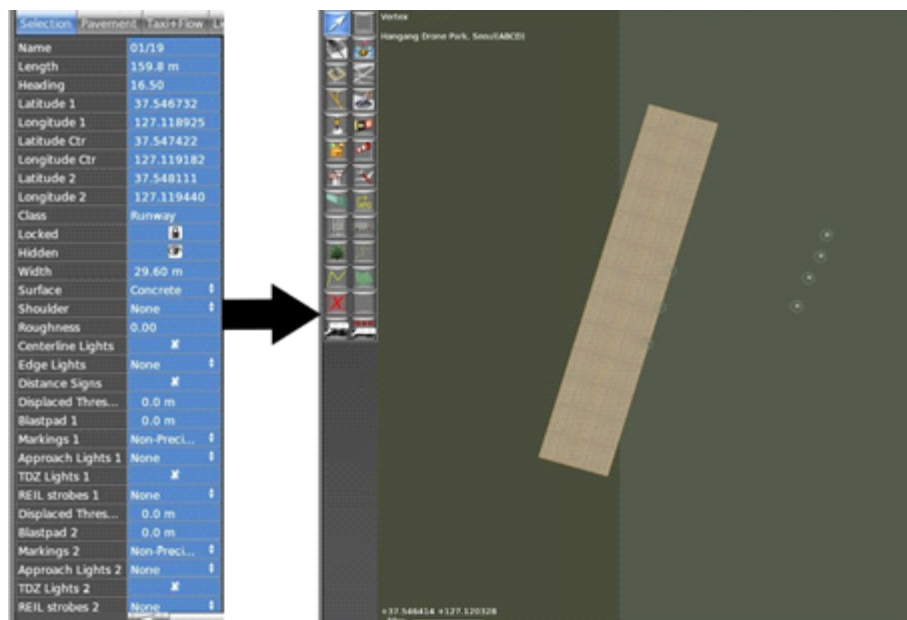


그림 31. WorldEditor의 디자인 파라미터

WorldEditor를 통해 가상 환경의 비행장을 구축하였다면 이를 X-Plane 환경에서 적절하게 위치시켰다.

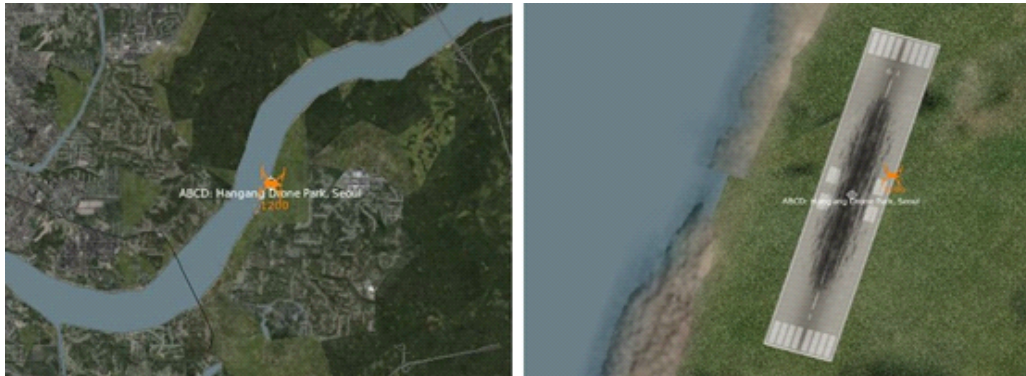


그림 32. X-Plane 속 가상 비행장 구축



그림 33. 동일한 위치에서의 실제 환경(좌)과 가상 환경(우)

다) 혼합현실 인터페이스

혼합현실 시뮬레이션 개발의 핵심은 실제와 가상을 연결하는 것이다. 따라서 실제 쿼드콥터 무인항공기 기체를 무선통신 장비를 통하여 지상통제소(GCS)에 연결하였다. 무선통신 장비는 지상모듈과 공중모듈로 이루어진다. 지상모듈은 지상통제소 컴퓨터와 연결되고 공중모듈은 실제 쿼드콥터 기체에 부착한다. 지상통제소로는 Mission Planner를 사용하였다. 따라서 이 부분의 핵심은 X-Plane과 Mission Planner 지상통제소간의 인터페이스를 개발하는 것이라고 할 수 있다. 인터페이스는 MATLAB 환경에서 구축하였다.

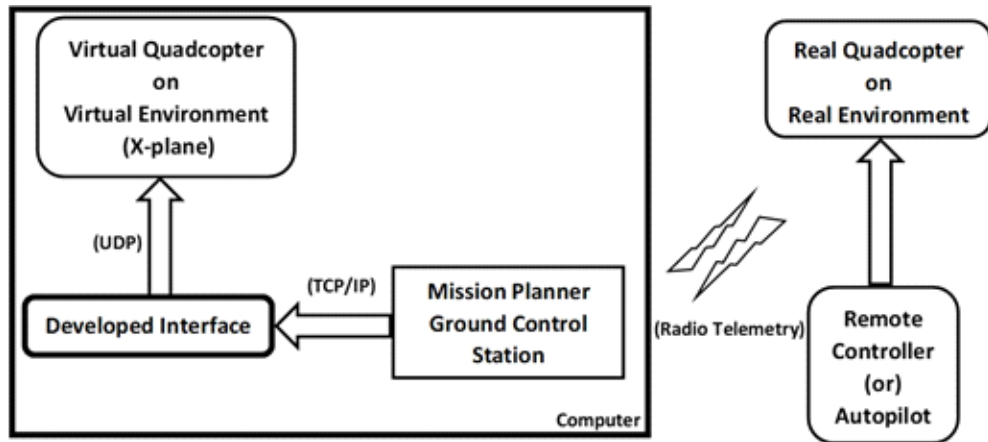


그림 34. 혼합현실 시뮬레이션 개요



그림 35. Mission Planner 지상관제소

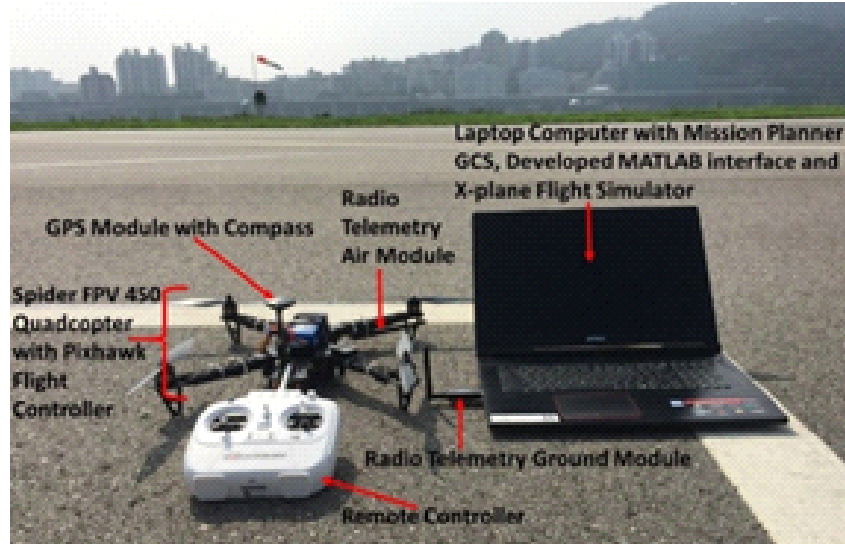


그림 36. 혼합현실 시뮬레이션 설정

인터페이스는 TCP/IP 클라이언트 프로그램, 데이터 변환 프로그램, UDP 서버 프로그램으로 구성하였다.

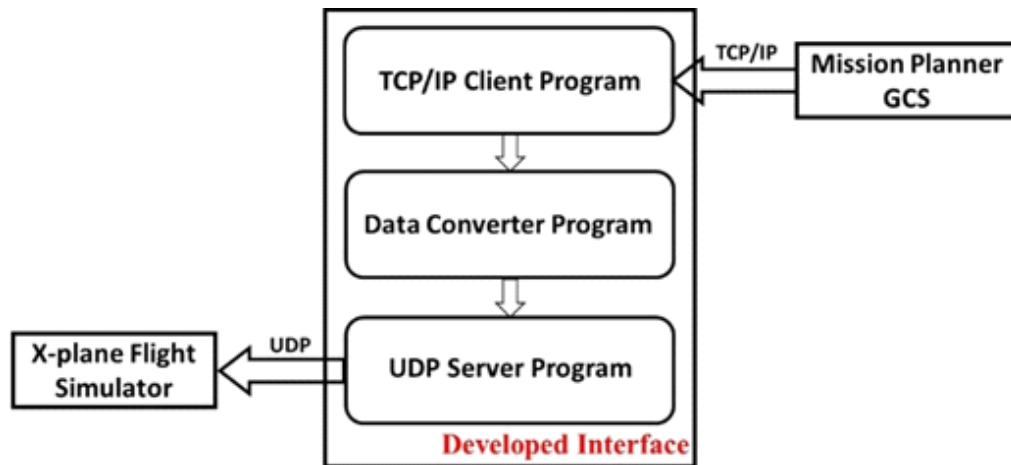


그림 37. 통신 인터페이스 개요도

우선 Mission Planner를 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 서버로 설정하고 개발한 인터페이스를 TCP/IP 클라이언트로 설정한다. 이를 통해 Mission Planner에서 인터페이스로 실제 쿼드콥터 무인항공기의 실시간 비행정보를 NMEA(National Marine Electronics Association) 형식으로 전송한다. 여기서 NMEA 형식은 모든 GPS 제조사들이 사용하는 표준 데이터 형식이다.

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

GPGGA,075310.484,3732.85015,N,12707.16238,E,1,19,0.45,20.24,M,0.0,M,0.0,0000.0000,F

ans =

    207

GPGGLL,3732.85,N,12707.16,E,075310.484,A,A*5D

ans =

    161

GPRHDT,283.0,0,E,0,E*5F

ans =

    137

GPRVTG,000.284,00.0,0.0,0.0*5C

ans =

    109

GPRMTC,075310.484,A,3732.85015,N,12707.16238,E,0.0,0.0,240719,0,E,A*1B

ans =

    38

GPRPY,-0.45925,0.98294,283.84340,*4C

ans =

    0

```

그림 38. NMEA 데이터 예시

인터페이스의 TCP/IP 클라이언트 프로그램은 서버인 Mission Planner에서 보내는 실시간 NMEA 데이터를 수신한다. 관심 대상이 실제 쿼드콥터의 실시간 위치와 자세이기 때문에 수신한 데이터 중에서 GPGGA와 GPRPY 정보를 parsing하여 사용하였다. 여기서 GPGGA는 실시간 위경도 데이터와 고도를 포함하며 GPRPY는 실시간 피치, 롤, 헤딩 데이터를 포함한다. 이러한 데이터 parsing 작업은 인터페이스의 데이터 변환 프로그램이 담당한다.

```

while (getit, 'bytesAvailable') > -1
t.bytesAvailable
DataReceived = fscanf(f); % Received real-time flight data
%% DATA CONVERTING PROGRAM
% Attitude splitting and converting the real-time flight data
i=1;
while(i)
data1 = fscanf(f);
data_temp1 = reshape(data1, ' ', 'split');
i = length(data_temp1);
data_temp3 = data_temp1(i);
dataAtt1 = reshape(data_temp1, ' ', 'split');
dataAtt11 = dataAtt1(i);
if strcmp(dataAtt1(i), 'DPRPT') % DPRPT contains real-time attitude
if strcmp(dataAtt1(i), '')
continue;
else
Roll_temp(i) = dataAtt1(i);
Pitch_temp(i) = dataAtt1(i);
Heading_temp(i) = dataAtt1(i);
Roll(i) = str2num(Roll_temp(i));
Pitch(i) = str2num(Pitch_temp(i));
Heading(i) = str2num(Heading_temp(i));
% Attitude of Quadcopter UAV
RROLL = Roll(i);
RROLL = Roll(i);
HEADING = Heading(i);
% Position splitting and converting the real-time flight data
data2 = fscanf(f);
data_temp = reshape(data2, ' ', 'split');
i = length(data_temp);
data_temp = data_temp(i);
dataPos1 = reshape(data_temp, ' ', 'split');
dataPos11 = dataPos1(i);
if strcmp(dataPos1(i), 'DPRQA') % DPRQA contains real-time position
if strcmp(dataPos1(i), '')
continue;
else
Time_temp(i) = dataPos1(i);
Lat_temp(i) = dataPos1(i);
Lon_temp(i) = dataPos1(i);
Alt_temp(i) = dataPos1(i);
Time(i) = str2num(Time_temp(i));
Lat(i) = str2num(Lat_temp(i));
Lon(i) = str2num(Lon_temp(i));
Alt(i) = str2num(Alt_temp(i));
Time1 = Time(i);
LatitudeData = [Lat(i)]'; % Degree minute
LongitudeData = [Lon(i)]'; % Degree minute
AltitudeData = [Alt(i)]'; % Meter
% Position of Quadcopter UAV
% Latitude (Degree minute to Decimal Degree)
LATData=nan2dec(LatitudeData, 'N.D');
LAT1 = str2num(LATData(1:1));
LAT2 = str2num(LATData(2:1));
LAT1m = [LAT1 LAT2];
LATITUDE = deg2deg(LAT1m); % Latitude in Decimal Degree
% Longitude (Degree minute to Decimal Degree)
LONData=nan2dec(LongitudeData, 'N.D');
LON1 = str2num(LONData(1:1));
LON2 = str2num(LONData(4:1));
LON1m = [LON1 LON2];
LONGITUDE = deg2deg(LON1m); % Longitude in Decimal Degree
% Altitude
ALTITUDE = AltitudeData; % Meter
end
end
end
end
end

```

그림 39. 데이터 변환 프로그램

변환한 데이터는 인터페이스의 UDP 서버 프로그램이 X-Plane의 UDP 클라이언트로 전송한다. 이러한 일련의 과정은 모두 실시간으로 진행된다.

Command Window						
New to MATLAB? See resources for Getting Started .						
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1400	0.8848	-0.3474	284.7813	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1400	0.8848	-0.3474	284.7813	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1400	0.8848	-0.3474	284.7813	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1500	0.8848	-0.3474	284.7813	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1500	0.8848	-0.3474	284.7813	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1500	0.8848	-0.3474	284.7813	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1500	0.8848	-0.3474	284.7813	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1500	0.9500	-0.4673	284.7717	
Position and Attitude of Quadcopter UAV						
37.5475	127.1194	19.1500	0.9500	-0.4673	284.7717	

그림 40. 변환된 실시간 데이터

라) 결과

개발한 혼합현실 시뮬레이션을 사용하여 3차례 시험비행을 수행하였다. 그 결과 세 차례 모두 Mission Planner에서 보이는 비행궤적과 X-Plane에서 보이는 비행궤적이 거의 같다는 것을 알 수 있었다. 즉 가상의 쿼드콥터 무인항공기가 실제 쿼드콥터 무인항공기를 잘 따라서 비행했다는 것이다. 약간의 차이는 실제 장소와 가상의 장소에 조금의 차이가 있기 때문에 생기며 시뮬레이션 분야에서 이 정도의 오차는 무시가능하다.

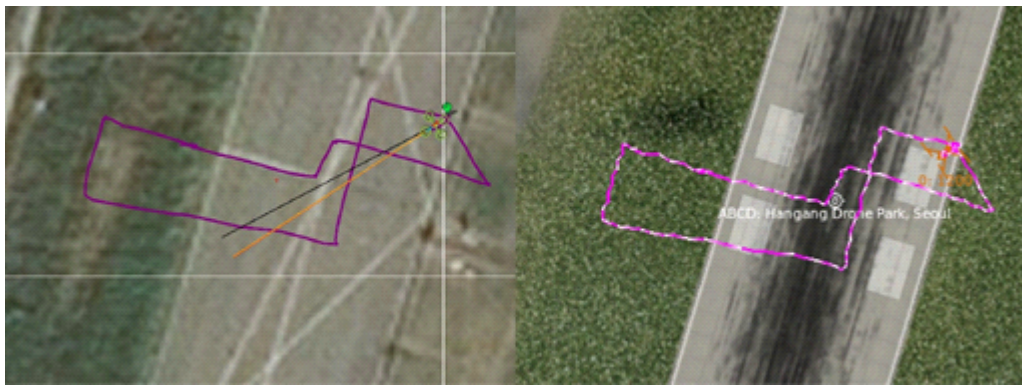


그림 41. 1번 비행시험 - 실제(좌), 가상(우)



그림 42. 2번 비행시험 - 실제(좌), 가상(우)



그림 43. 3번 비행시험 - 실제(좌), 가상(우)

다음은 혼합현실 쿼드콥터 시뮬레이션을 진행하는 모습이다. 1번부터 10번까지 이륙부터 착륙까지 비행의 전 과정으로 진행하였으며 R은 실제 환경을 V는 가상 환경을 나타낸다.

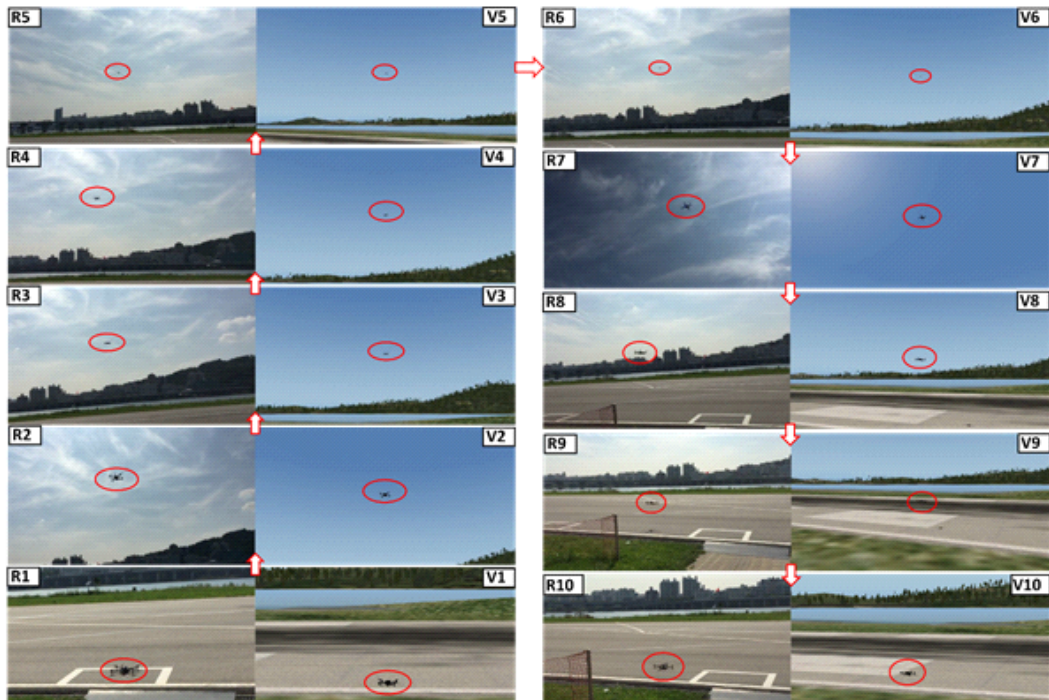


그림 44 쿼드콥터 혼합현실 시뮬레이션

4. 웨어러블 디바이스 기반 시스템 개발

가. ATC/M 시스템 설계

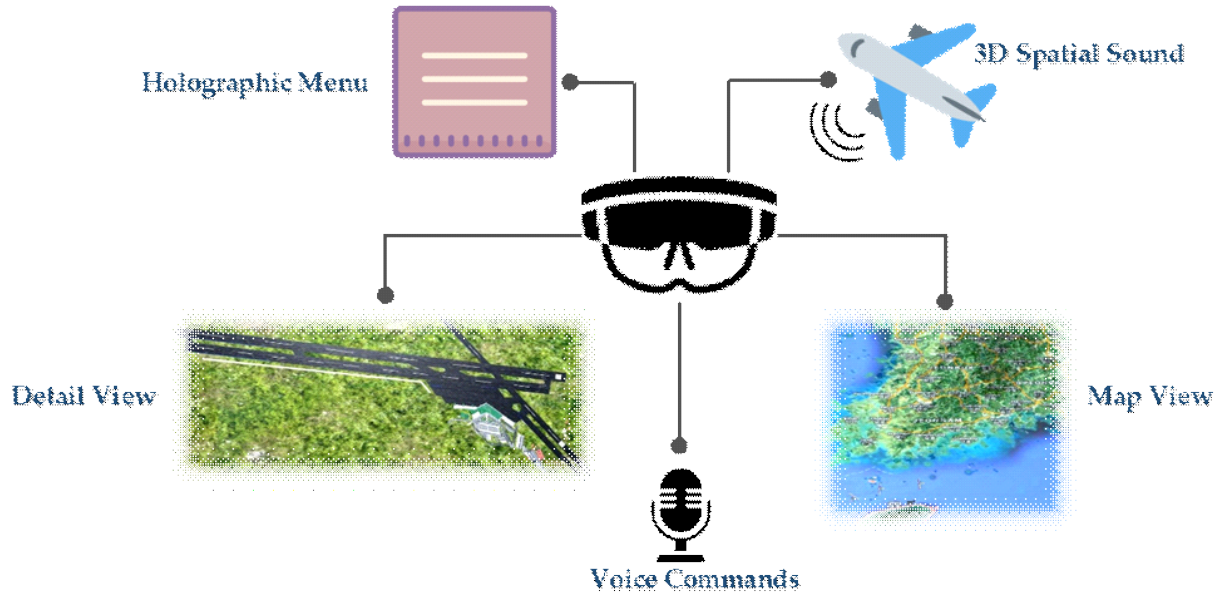


그림 45. 혼합현실 기반 ATC/M 시스템 구성도

항공교통 관제사가 항공교통을 시각화하고 관리할 수 있는 4D (3D + 시간) MR 기반 항공관제 시스템을 제안한다. 본 시스템은 관제사는 관제탑에서 다수의 정보를 효율적으로 모니터링할 수 있다. 관제사는 주로 비행기의 착륙, 이륙, 항공교통, 지상 교통 등을 실시간으로 조회하는데, 이 정보들을 카테고리화하여 지상과 공중에 있는 소통량. 지상 교통은 주로 비행기의 착륙, 이륙, 유도로의 교통 등으로 구성된다.

해당 범주에 속해있는 교통을 모니터링하기 위해 관제사는 직접 관제탑의 창문을 통해 직접 관찰한다. 하지만 기상악화, 저시정 상태에서는 이러한 방식의 모니터링 방법은 안전과 관련하여 많은 문제점을 초래한다. 이러한 문제점에도 불구하고 일반적인 항공관제 시스템의 경우 2D 모니터 화면과 지도를 사용하여 해석한다. 기존의 방식을 통해 항공교통 관제사가 다른 모니터 화면과 비행장의 실제 세계보기로 전환하는 데 많은 시간과 노력이 소요되어 항공 교통량을 실시간으로 해석하는 데 있어 업무 효율성이 떨어진다. 따라서 단일 하드웨어 장치를 통해 시각적 및 음성 상호작용을 지원하는 등 실제 운용환경에서 효율적인 작업을 지원하기 위해 MR 기반 ATC/M 시스템을 제안한다.

본 시스템은 단일 HMD 디바이스를 통해 지상뿐만 아니라 공중에서의 트래픽을 제어하기 위한 상호작용 메커니즘을 제공한다. 이러한 메커니즘에는 홀로그램 디스플레이 또는 음성명

령을 사용하여 단일 디스플레이 장치 내의 여러 인터페이스 간 전환이 포함된다. 또한, 소리가 정보 전달의 중요한 수단으로 여겨짐과 동시에 HMD 디바이스를 통해 음성명령 기능도 제공한다. 본 시스템은 항공교통 관제사의 구조화된 작업을 지원하기 위해 다중 상호작용 모듈과 홀로그램 공간 인터페이스로 구성되었다. 항공교통 관제사가 수행하는 작업은 주로 지도상의 레이더 정보 열람, 관제탑 창문을 통한 공항 활주로 모니터링, Map view, Detail view 간 전환, 음성명령을 통한 통신 등이 포함된다.

나. 제주공항 Scenery Modeling

Unity 3D에서 모델링이 가능한 파일 형식을 조사하고 적용 가능한 데이터를 선별하는 작업을 수행하였다. Unity에서 지원하는 최적의 파일 형태로는 Object File, DSF file, Painted line File, Drapped polygon File 등의 형식이 있지만 지원받을 수 있는 파일은 X-plane으로써 제주공항 경관을 반영하여 변환하는 작업을 수행한다. X-plane형태의 3D 객체들을 importing하여 제주공항 모델링이 가능했지만 전체적인 환경은 위성 이미지와 3D plane 시뮬레이터 이미지를 통해 3D object를 수작업으로 모델링을 수행했다.

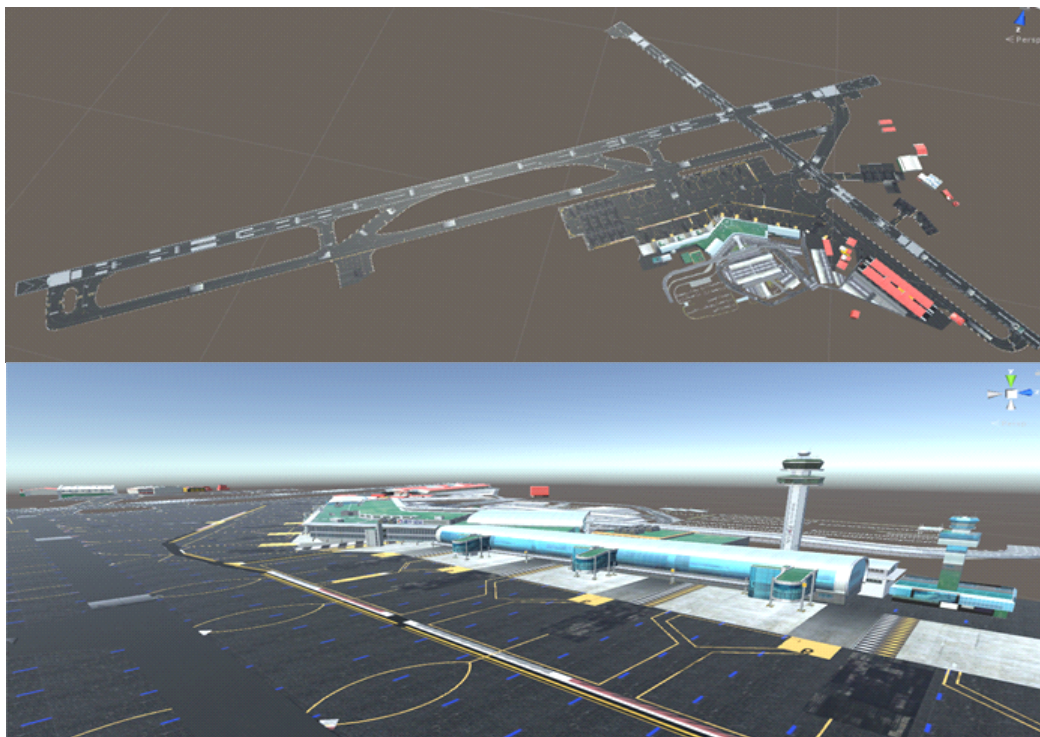


그림 46. Unity 엔진을 이용한 제주공항 3D 모델링

다. ATC/M 시스템 개발

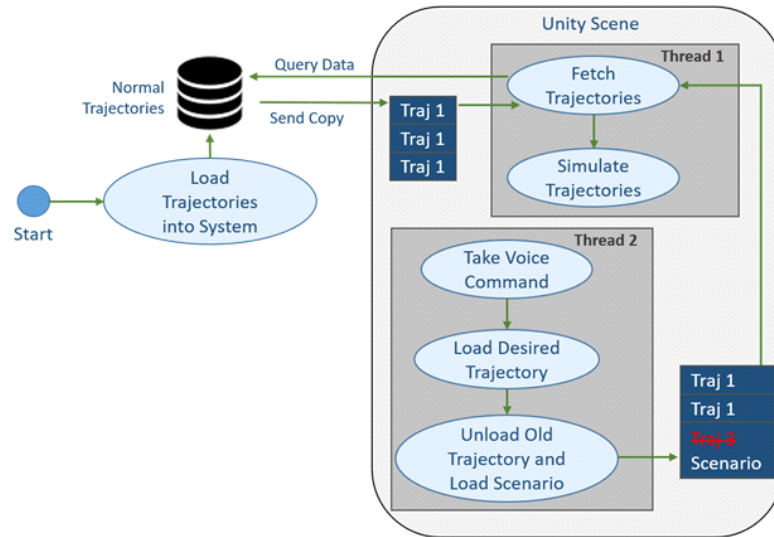


그림 47. 시스템 작업 흐름도

1) Detail View

제주공항 비행장의 3D Scenery가 Detail View에 포함하였다. 해당 3D scenery의 경우 공항 건물, 유도로, 활주로, 공항의 Apron 지역 및 주요 주변 지역을 포함하여 비행장의 각 물체에 대한 3D 정보가 포함되어 있다. 항공교통 관제사는 비행장의 3D 모델을 HMD 디바이스를 착용하고 여러 각도에서 정보를 볼 수 있다. 또한, 관제사는 관제탑의 외부 시야에 의존하지 않고, HMD 디바이스를 통해 비행장의 4D 홀로그램 뷰를 사용하여 비행장을 모니터링이 가능하다. 관제사는 비행장의 홀로그램 뷰를 관제탑 내부의 테이블 등 수평 표면에 고정된 상태에서 모니터링이 가능하다. 고정된 홀로그램 뷰를 통해 공항에서 비행기의 활동을 지속적으로 관찰할 수 있다. 항공교통에 대한 4D 정보는 다음과 같다.

- 이륙 준비
- 공중에서 대기중인 교통량과 착륙 준비
- 착륙 후 또는 이륙 전 유도로에서의 교통
- 공항 Apron 교통

관제업무 수행 시 필요한 항공기 정보는 각 항공기 측면에 텍스트로 보여주며, 해당 정보는 항공기명, 속도, 고도, Squawk code 등으로 구성되었다. Detail View를 통해 항공기는 지상 및 공항 주변의 모든 활동을 편리하게 관찰할 수 있다.

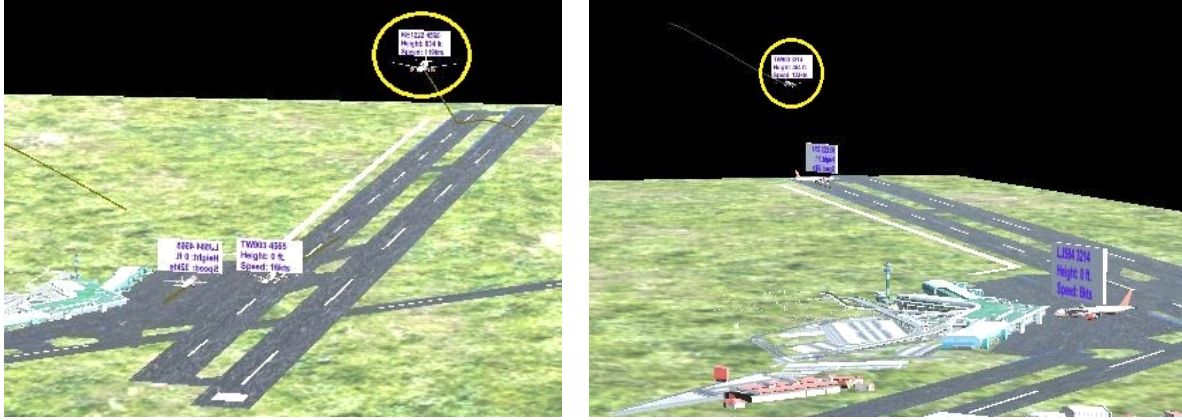


그림 48. Detail View에서 각도 별 관찰 가능한 항공 정보
(좌) 항공기 이륙 (우) 항공기 착륙

2) Map View

Map View의 경우 주로 공항에서 멀리 떨어진 항공교통을 중점적으로 관찰할 수 있다. 지도 위에서 항공교통의 4D 홀로그램의 시각화를 지원한다. 관제사는 기존의 2D 화면의 지도상 항공교통 정보를 해석하는 방식을 대신하여 4차원 정보를 시각화하여 전 세계 항공교통의 상황을 쉽게 해석할 수 있다. 항공교통 관제사는 3D 세계지도를 따라 이동할 수 있으며 항공교통 분석 업무에 대한 효율성을 높일 수 있다. 항공편 정보는 Detail View에서 제공하는 항공편명, Squawk code 등의 정보와 유사하다. 항공교통 관제사는 본 시스템의 홀로그램 혼합현실 View를 통해 대상 항공기와 공항과의 거리를 쉽게 이해할 수 있다. 이를 통해 제안하는 혼합현실 세계에서 시스템상의 거리를 기준으로 항공기와 공항 사이의 실제 물리적인 거리를 쉽게 이해할 수 있다. 또한, 관제사는 본 시스템이 지원하는 4D 정보제공을 통해 대상 항공기의 운항 방향을 분석하고 사고 발생 전 결과를 예측할 수 있다.



그림 49. 비행장 4D 정보제공
(좌) 지도상의 높이 정보를 포함한 3D 지도 (우) 평면지도

라. 서버 구축

본 시스템의 실시간 비행계획 데이터 수신을 통한 시뮬레이션을 위해 Client - Server 구조를 개발하려고 했으나 기존의 Client - Server 구조의 경우 데이터 검색에 있어 지연이 예상되어 다른 방식의 Client - Server 구조를 구축하였다.

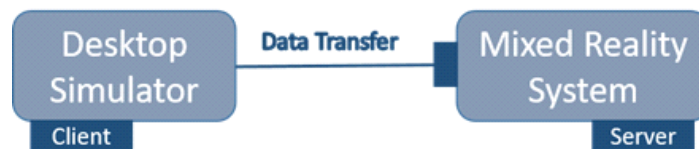


그림 50. TCP Client - Server 구조

상단의 TCP Client - Server 구조에서 Hololens 디바이스는 서버의 역할을 하며 지속적으로 클라이언트가 업데이트하는 정보를 받는다. 클라이언트 (Desktop Simulator)에서 데이터가 전송될 때 데이터를 검색하여 MR Mapping 시스템에 제공하는 방식을 따른다. 클라이언트-서버 구조와 함께, 맵핑 시스템은 처음에는 파일에서 데이터를 로드했기 때문에 데이터를 저장하고 사용하기 위해 실시간 데이터 검색을 처리하는 등의 절차가 필요하다. 따라서 TCP를 사용하여 소켓 프로그래밍을 기반으로 Script를 만들어 현재 Hololens는 특정 포트에서 수신을 대기하고 클라이언트로부터 요청이 수신될 때마다 데이터를 수신하는 서버 역할을 대신한다. Client - Server 구조를 테스트하기 위해 Python Script를 사용하여 클라이언트를 만들어 통합 테스트를 진행했다. 이 구조는 현재 동일한 Wi-Fi 라우터를 사용하는 등 로컬 네트워크에서 작동한다.

통합 테스트를 완료 후 비행계획을 Hololens의 수신자 측으로 보내는 작업을 위해 서버를 동기화하고 Python 클라이언트에서 서버로 Sequence 항공데이터를 송신하는 데 성공했다. 따라서 본 시스템의 서버는 클라이언트로부터 지속적으로 데이터를 수신하고 MR 환경에서 항공데이터를 시뮬레이션하는 것이 가능하다.

5. UI/UX 설계

가. 시나리오 기반 사용자 인터페이스 설계

항공교통 관제사가 직면 한 문제 중 하나는 다수의 정보를 분석하기 위해 여러 대의 컴퓨터 화면과 상호 작용하는 것이다. 관제사는 대부분 관제탑의 창문을 통해 공항 내 항공기를 직접 모니터링하는 등 구조화되지 않은 작업을 수행하는 것이 보통이다.

본 시스템은 다수의 비행 시나리오를 처리하는 데 가장 적합한 구조를 설계하고 주어진 음성

명령에 따라 대상 항공기의 궤적을 업로드 시키는 방식을 따른다.

관제사는 동시에 여러 정보를 해석해야 한다. 하지만 동시에 받아드릴 수 있는 정보의 양은 한정적이다. 따라서 비행장과 여러 컴퓨터 화면 간 쉬운 전환이 가능한 인터페이스의 통합이 필요하다. 항공교통 관제사는 MR 기반 HMD 디바이스를 통해 비행장의 Detail View와 Map View를 쉽게 전환할 수 있다. Hololens의 경우 제스처 인식과 음성명령이 가능한 디바이스이다. 음성명령의 경우 사용자가 처한 주변 환경으로부터 발생하는 noise 등의 영향을 많이 받아 음성 인식의 정확도가 낮아질 수도 있는데 제스처는 이를 보완해 줄 수 있어 제스처와 음성명령은 상호보완적인 관계이다.

1) 홀로 그래픽 메뉴

Hololens는 Air-tap 등 제스처 형식의 새로운 인터페이스를 지원하지만, 관제사에게 친숙하지 않아 업무를 수행하는 것에 있어 추가적인 부담이 가중될 수 있다. 따라서 비교적 친숙한 Button-tap 방식의 인터페이스를 추가적으로 생성하여 관련 정보를 선택하고 볼 수 있는 홀로그래프 메뉴를 제공한다. 제스처 인식과 음성명령은 Device와의 상호작용 방식에서 가장 보편적으로 사용되는 방식이다.

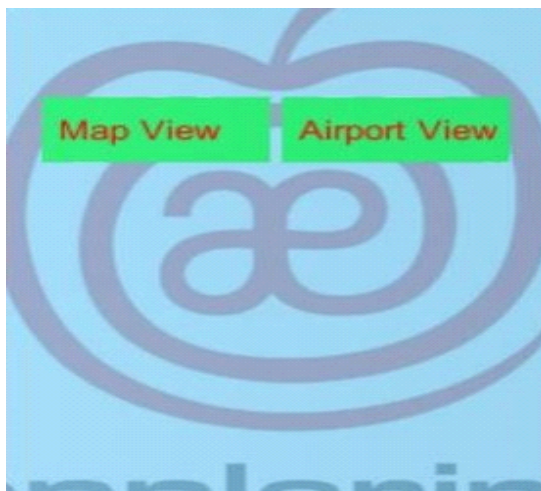


그림 51. 홀로그래픽 메뉴

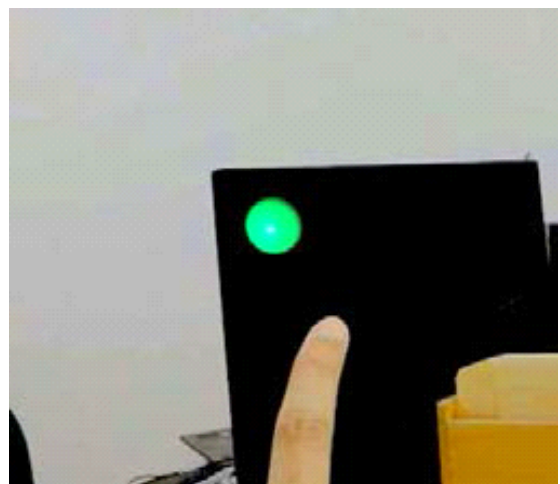


그림 52. 사용자 움직임을 추적하는 Cursor

2) 음성명령

음성은 항공교통 관제사가 사용하는 유일한 통신 매체 중 하나로서 대부분의 관제사는 업무를 처리하는 데 있어 음성명령을 사용한다. 본 시스템이 지원하는 HMD 디바이스를 통해 음성명령이 가능하므로 추가적인 장치는 필요 없다. 본 시스템의 음성명령 지원을 통해 관제사는 ‘메뉴 열기’, ‘메뉴 닫기’, ‘Map View’, ‘Detailed View’ 등과 같은 간단한 음성명령을 사용하여

메뉴를 쉽게 조작할 수 있다.

음성명령은 영어만 지원되어 항공 코드 등의 음성 인식은 정상적으로 작동하지만 ‘부산’, ‘제주’, ‘YUMIN’ 등의 특정 단어 들을 사용하여 관제 명령을 내리기 위해서는 사전에 명령어를 정의해야 한다.

시나리오 기반의 음성 인식을 사용한 관제 명령을 위해서는 다수의 항공 시나리오를 처리하는 데 가장 적합한 아키텍처를 설계하여 각각의 항공기마다 한 번에 하나의 궤적이 시스템에 로드되는 방식을 따른다. 주어진 음성명령에 따라 해당 항공기에 대한 이전 궤적을 Unloading 시키고 시나리오 기반 궤적이 애플리케이션에 로드된다. 이러한 방식으로 진행 중인 시뮬레이션 중에 한 번에 하나의 궤적이 업데이트되어 데이터 처리에 걸리는 시간을 최소화할 수 있다.

6. 검증

가. 비행궤적 검증

1) 유인항공기 비행궤적 검증

비행데이터의 검증을 위하여 시뮬레이션 엔진에서 추출한 가상의 비행궤적을 실제 항공기의 비행궤적과 비교하였다. 실제 항공기의 비행궤적은 앞에서 언급한 ADS-B 데이터를 이용하였다.

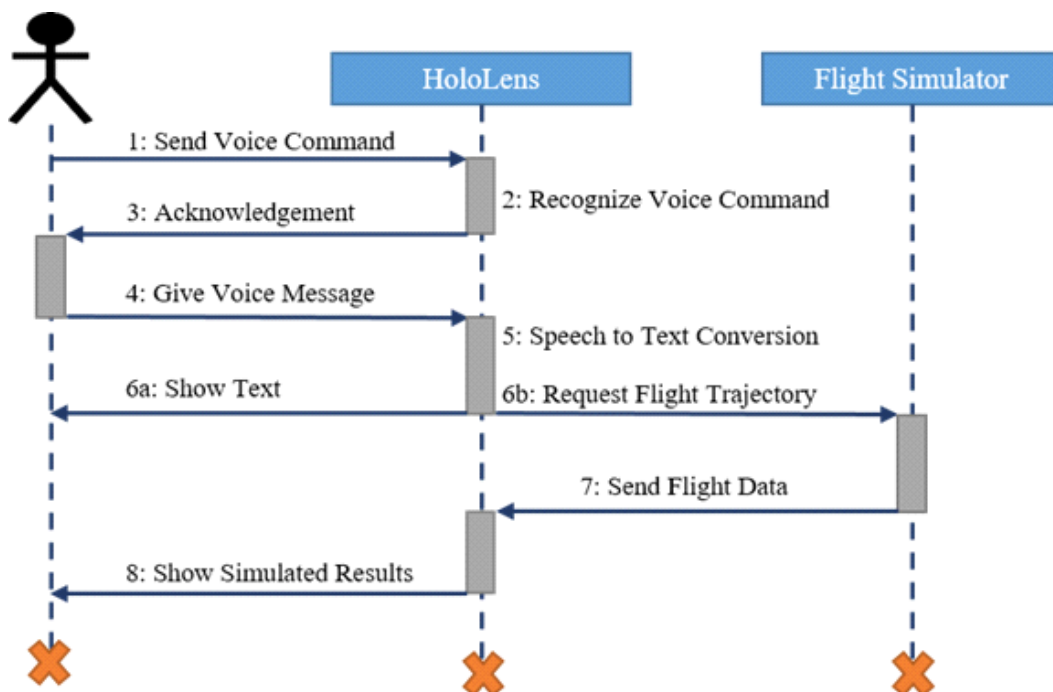


그림 53. 음성명령 구조도

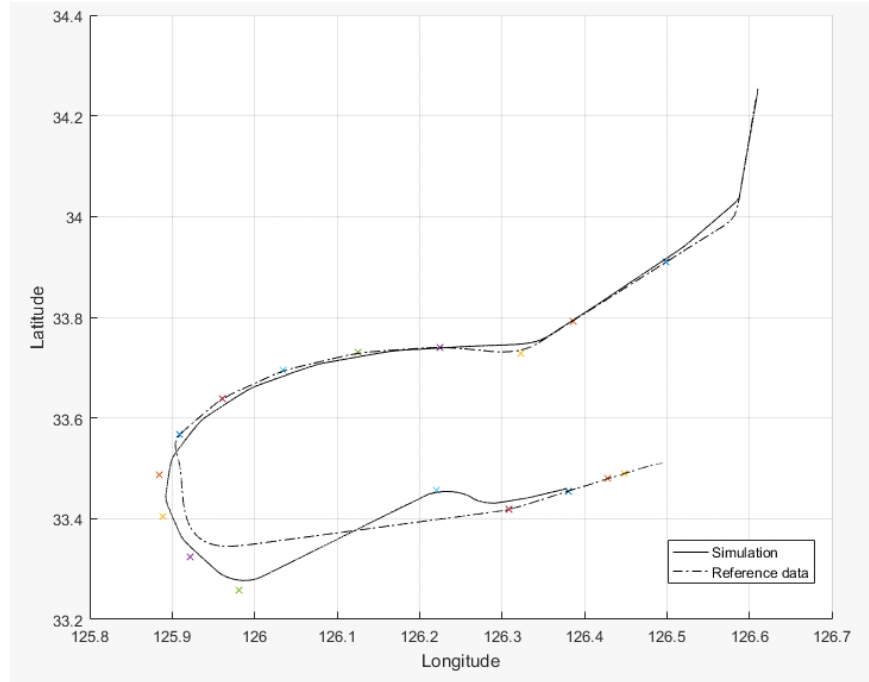


그림 54. DOTOL Arrival 비행궤적 비교

위 그래프에서 실선은 시뮬레이션 엔진으로 추출한 비행궤적이고 점선은 ADS-B 데이터이다. 전반적으로 실제 항공기보다 오히려 시뮬레이션 궤적이 'x'자로 표시된 waypoint들을 상당히 잘 따라가는 것을 확인하였다. 실제 항공기의 경우 도착절차의 arc를 비행하는 도중 radar vector를 받거나 direct flight을 하기 때문으로 추정한다. STAR절차도와 APCH절차도를 봤을 때 PC625 waypoint에서 radar vector를 통하여 항공기 간 분리를 한 후 KONDE IF(Intermediate Fix)까지 직선비행 관제를 한 것으로 추정된다. 관제 개입이 있을 거라고 추측되는 부분 전에는 시뮬레이션 궤적과 굉장히 유사하게 비행함을 알 수 있다. 관제 개입이 있는 이유로는 제주국제공항의 공역이 너무 붐비기 때문에 time separation을 수행하기 위함이라고 예측된다.

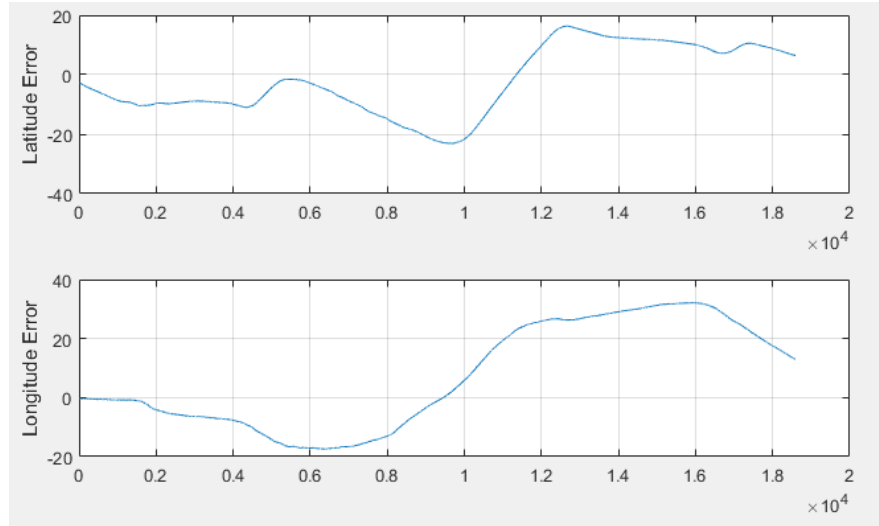


그림 55. 위도(위), 경도(아래) 오차

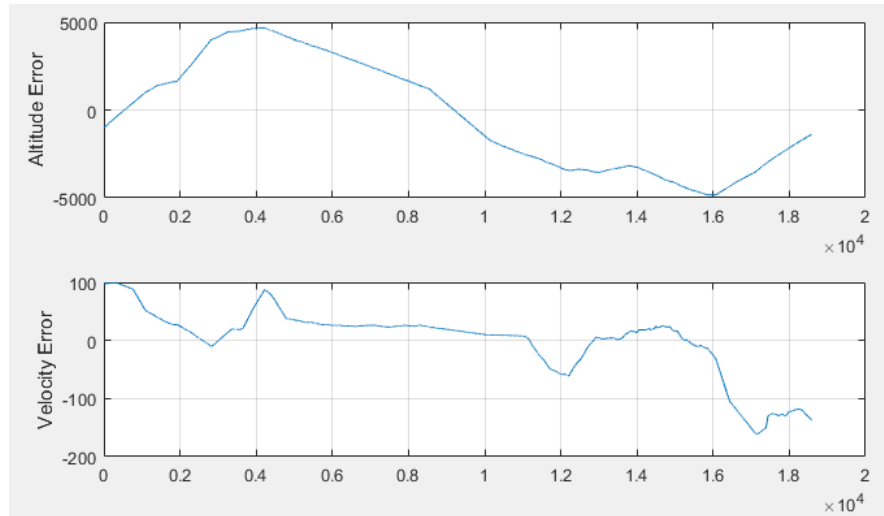


그림 56. 고도(위), 속도(아래) 오차

오차를 구해보면 위치(위도와 경도)의 오차는 비교적 낮고 고도와 속도의 오차는 상당히 큰 것으로 나타난다. 사실 고도와 속도에 대한 오차는 그 값이 관제사의 관제 명령에 따라 큰 차이가 나므로 크게 의미가 있지는 않다. 따라서 위치에 대한 결과만이 유의미하다고 할 수 있다. 관제 명령이 있기 전까지의 ADS-B 데이터와 시뮬레이션 엔진의 비행데이터 간의 RMSD(Root Mean Square Deviation; 평균 제곱근 편차)를 계산하였다.

표 6. 데이터 RMSD

위도 [ft]	경도 [ft]	고도 [ft]	속도 [kn]
495.5332	613.5891	3,102.6	57.4629

항공교통관제절차 기준 충돌위험 기준은 500ft(150m)임을 고려할 때 이 정도의 오차를 갖는 항공기 궤적은 항공교통관제분야에서 문제를 발생시키지 않을 것으로 예상된다.

2) 무인항공기 비행궤적 검증

무인항공기 혼합현실 시뮬레이션 검증을 위해 Pixhawk의 데이터 로그파일과 X-Plane의 데이터 파일을 분석하였다. Mission Planner와 X-Plane에는 데이터 수집 시스템이 내장되어 있다. 다양한 파라미터들이 수집되며, 그 중 위도, 경도, 고도, 피치, 롤, 헤딩 데이터를 사용하여 비교하였다.

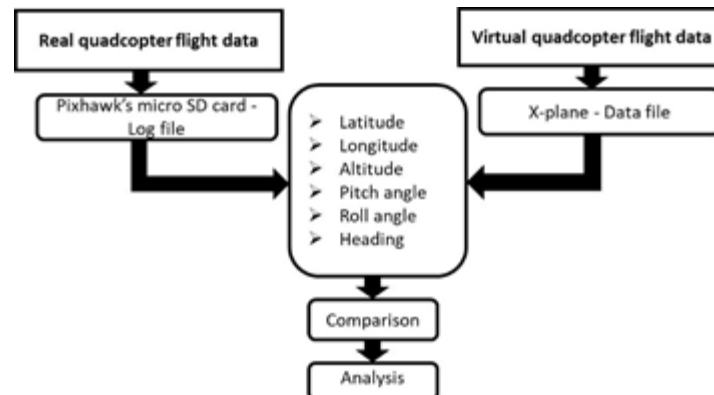


그림 57. 데이터 비교 과정

검증을 위한 데이터 비교분석은 1번 비행시험을 이용하여 진행하였다. 수집한 각각의 모든 파라미터들에 대하여 분석을 진행하였다. 그 결과 모든 파라미터들에 대하여 두 데이터의 차이가 거의 없음을 확인하였다. 또한 평균적으로 400ms 정도의 시간지연이 있었다. 이 수준의 지연을 또한 시뮬레이션 분야에서는 무시가능한 정도이다. 다음은 비교분석 결과 그래프이며 실선은 실제 쿼드콥터 무인항공기의 데이터를, 점선은 가상 쿼드콥터 무인항공기의 데이터를 나타낸다.

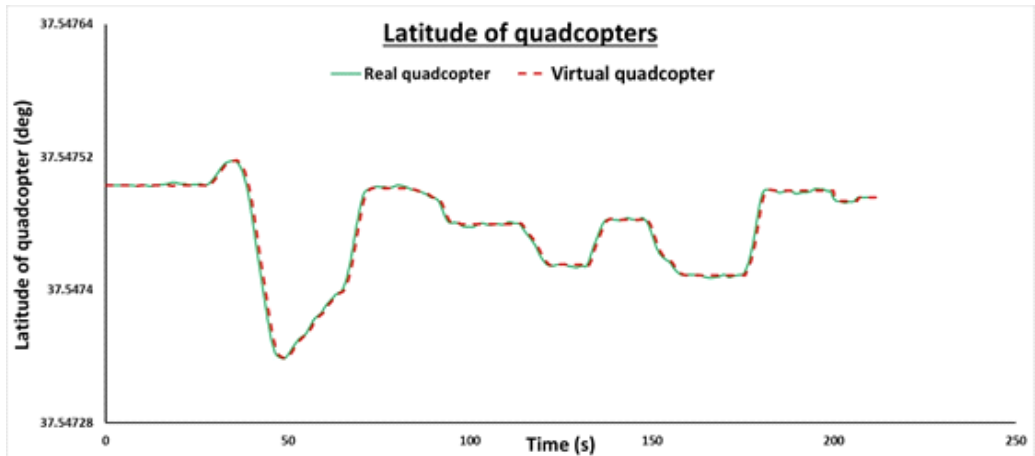


그림 58. 혼합현실 시뮬레이션 위도 비교

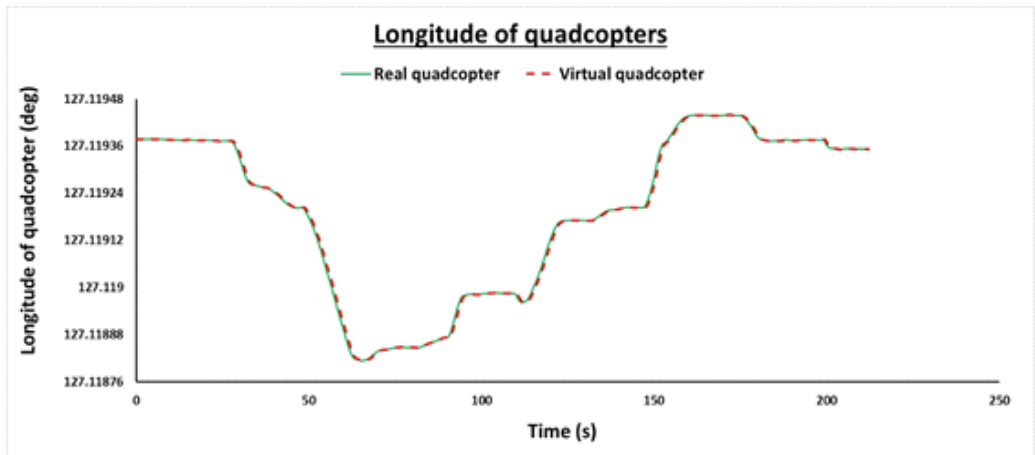


그림 59. 혼합현실 시뮬레이션 경도 비교

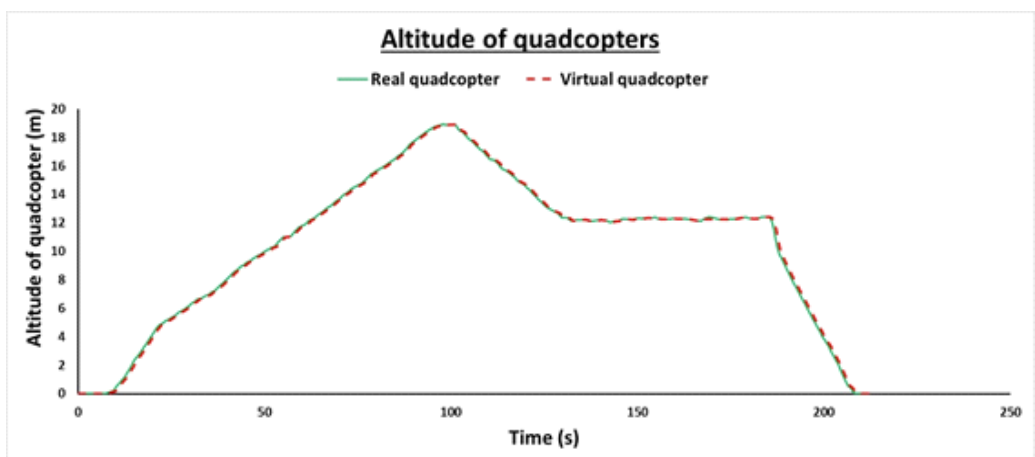


그림 60. 혼합현실 시뮬레이션 고도 비교

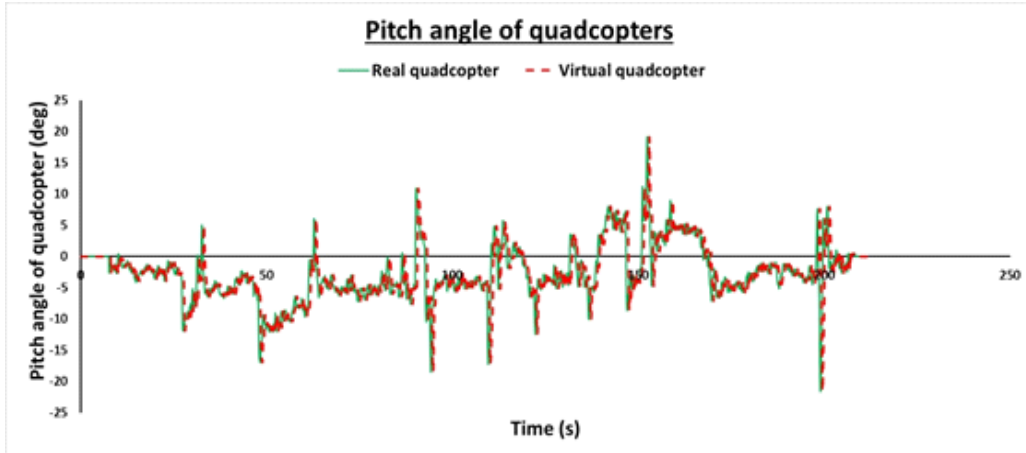


그림 61. 혼합현실 시뮬레이션 피치 비교

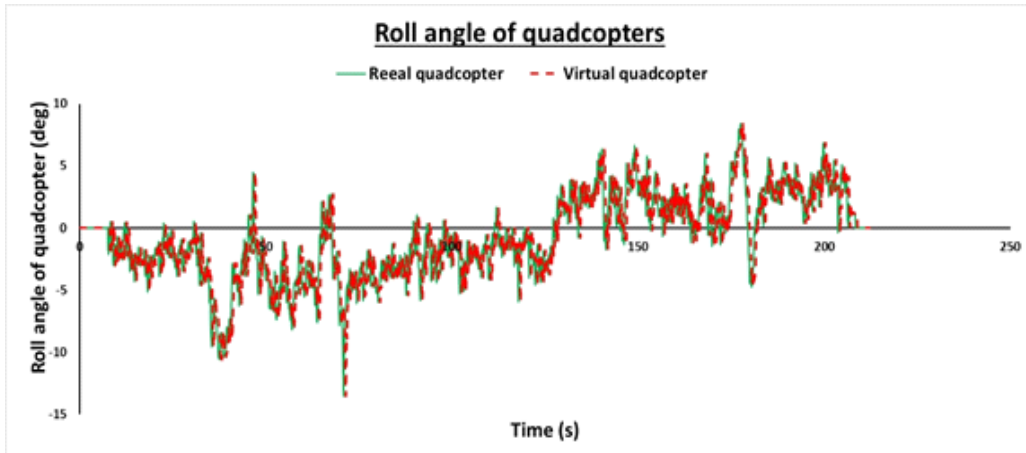


그림 62. 혼합현실 시뮬레이션 롤 비교

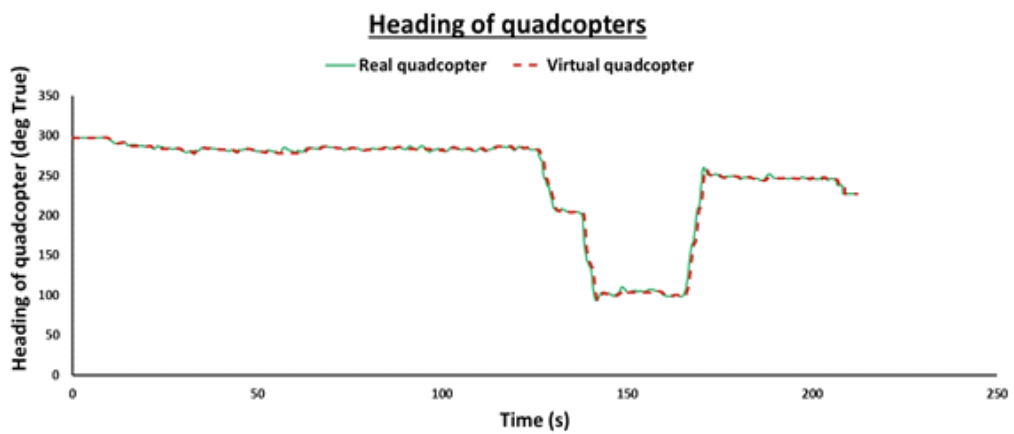


그림 63. 혼합현실 시뮬레이션 헤딩 비교

나. MR 기반 시각화 시스템 검증

본 연구가 제안하는 시스템은 실제 운용환경에서 관제사의 업무를 지원하는 목적을 갖고 있어 외부 품질인 사용자 만족도와 내부 품질에 대한 심도 있는 평가가 이루어져야 한다.

외부 품질의 경우 전문가 초청을 통한 전체적인 시스템에 대한 만족도를 도출하고, 내부 품질의 경우 복합현실의 기능적, 비기능적 요구사항과 해당 디바이스의 특성을 도출하여 테스트 케이스를 설계하는 등 정형화된 도구를 통한 테스트가 절차가 필요하다. 따라서 제안하는 시스템을 동적 테스트 레벨에서 적용 가능한 평가 기준을 제시하고 품질 결과의 수치화를 통해 객관성을 제공한다.

1) 내부 품질

가) 품질 지표 카테고리 분류

품질 지표 카테고리 구성은 ISO/IEC 25010의 품질모델에서 제시하는 품질 특성과 혼합현실의 기술적 요구사항을 기반으로 품질 특성 카테고리를 도출하여 맵핑한 결과를 와 같이 제시한다.

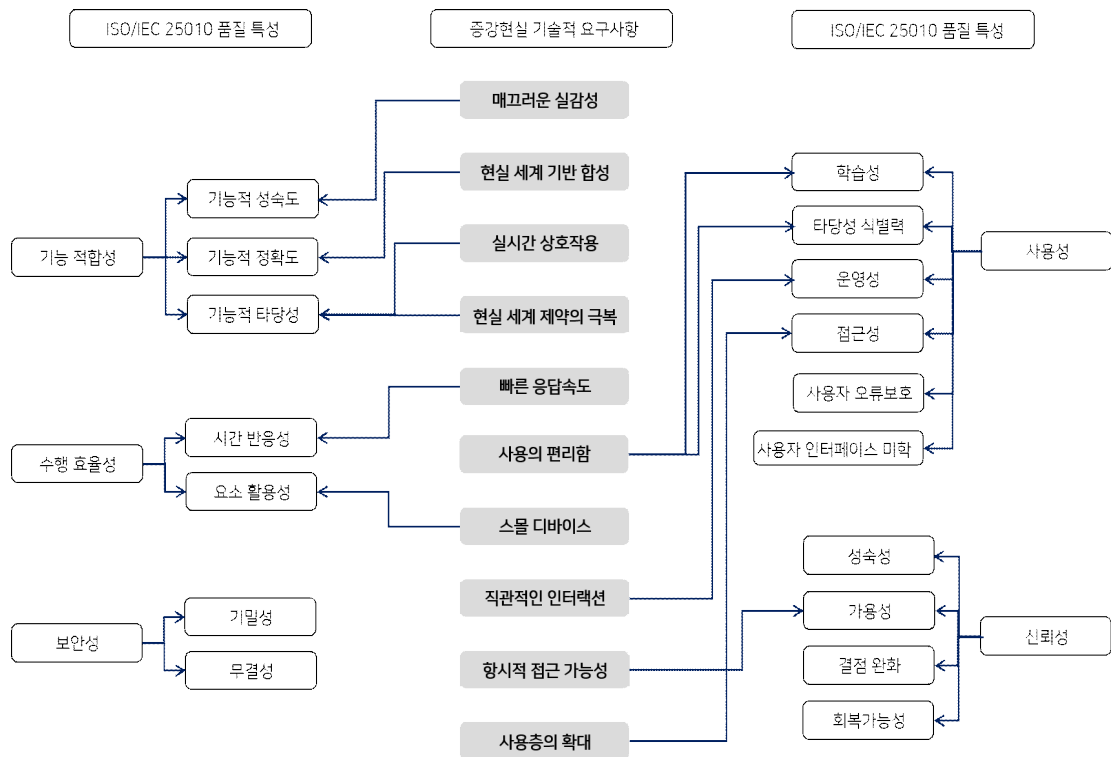


그림 64. 기술적 요구사항 기반 품질 특성 분류

나) 품질 특성 반영 Metrics 구성

- ISO/IEC 25023 기반 품질 Metrics

[그림 64]에서 제시한 혼합현실 품질 특성을 바탕으로 품질평가를 위한 Metrics을 정의하고 구성하는 단계이다. 일반적인 소프트웨어와 혼합현실 콘텐츠는 상이한 성격을 지니고 있기 때문에 Metrics 또한 이 차이를 반영해야 한다. 앞서 제시한 특성과 조건을 기준으로 혼합현실 콘텐츠의 특징을 반영한 품질평가를 가능하게 한다.

하단의 Metrics은 증강현실 기술을 기반으로 하되 기존의 ISO/IEC 25023 를 일부 따른다.

표 8. 혼합현실 기반 콘텐츠 품질 Metrics 구성

상위 품질	하위 속성	세부 정의
기능 적합성	기능적 성숙도	ARFRD 증강현실의 기술적 요구사항 문서와 관련된 기능의 수
		ARFAD ARFRD에서 식별한 기능이 없거나 잘못된 기능의 수
		1 - (ARFAD / ARFRD)
	기능적 정확도	ARFCI 증강현실 실행 검증에서 현실과의 정합이 성공적으로 수행되지 않은 경우의 수
		ARTCV 증강현실 실행 검증을 위해 시도된 총 횟수
		1 - (ARFCI / ARTCV)
	기능적 타당성	ARFAI 실시간으로 상호작용이 지원되지 않거나 부분적으로 지원이 되지 않는 기능의 수 또는 기능 영역
		ARTFI 실시간 상호작용에 대한 지원이 필요한 총 기능 수
		1 - (ARFAI / ARTFI)
수행효율성	시간 반응성	TE 특정 태스크 요청 및 실행에 따른 응답 속도
		TME

		실시간성을 뒷받침하는 산술적 평균 시간
		If TE ≤ TME 인 경우 적합 판정
	요소 활용성	ARNAS 사용자가 요청한 동시 액세스 수 ARNMA 시스템에 요구되는 최대 동시 액세스 수 ARNAS / ARNMA
사용성	학습성	ARDNF 사용자를 위한 도움말 기능 ARFNT 사용자가 시스템에 액세스 할 수 있는 총 기능 수 ARDNF / ARFNT
	타당성 식별력	ARNDU 사용자의 요구사항에 적합한 기능을 제공한 수 ARFNT 사용자가 시스템에 액세스 할 수 있는 총 기능의 수 ARNDU / ARFNT
	운영성	ARNFN 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 메시지를 포함한 기능의 수 ARFNT 사용자가 시스템에 액세스 할 수 있는 총 기능 수 ARNFN / ARFNT
	사용자 오류 보호	ARNFC 시스템이 종료되기 전에 실행 취소가 가능한 수 N (ARNFC)
	사용자 인터페이스 미학	ARNIC 사용자가 사용할 수 있는 인터페이스의 수 N (ARNIC)
	접근성	ARNFN 특별히 도움이 필요하거나 노인이 이용할 수 있는 기능

		의 수
		ARFNT 사용자가 시스템에 액세스 할 수 있는 총 기능 수 ARNFN / ARFNT
신뢰성	성숙성	ARNSD 표준 환경에서 사용자의 요구 사항에 맞춰 기능 을 수행 한 수 ARFNT 사용자가 시스템에 액세스 할 수 있는 총 기능 수 ARNSD / ARFNT
	가용성	ARNDA 지원가능 디바이스를 통한 접근에 성공한 횟수 ARNDS 지원가능 디바이스를 통해 접근에 시도한 총 횟수 ARNDA / ARNDS
	결점완화	ARNEA 오류가 발생했으나 정상 작동한 경우의 수 ARNSE 시스템이 작동시 오류가 나타난 횟수 ARNEA / ARNSE
	회복가능성	ARNRR 주어진 시간에 성공적으로 복구를 수행한 수 ARNRS 주어진 시간에 복구가 필요한 횟수 ARNRR / ARNSR
보안성	기밀성	ARNRCE 시스템에서 작동한 데이터 오류 발생 수 1 - ARNRCE

	무결성	ARTCA 타인의 액세스 접근 제어 수
		1 - ARTCA

다) 동적 테스트 케이스

본 연구에서는 복합현실의 기술적 요구사항과 관련하여 기능 적합성, 수행 효율성, 사용성, 신뢰성, 보안성을 품질의 주 특성으로 정의했다. 그와 관련한 구체적인 부 특성을 제시했는데 이는 품질 특성을 측정하기 위한 하위 레벨 단위의 테스트를 수행하기 위한 것이다.

본 연구에서는 테스트를 구체화하기 위해서 경험 기반 테스트 기법을 적용한다. 경험 기반 테스트 기법은 테스트 케이스를 추출하여 테스트 대상에 적용하는 방식이며 소프트웨어를 실행하면서 테스트를 수행하는 동적 테스트에 적합하다.

다음은 테스트 케이스를 구체화한 리스트이다.

(1) 기능성

(가) 기능 적합성

- 현재 사용자의 상황에서 필요한 정보를 제공해야 한다.
- 기술적으로 지원 가능한 범위 내 사용자의 감각을 자극시켜야 한다.
- 사용자가 도달할 수 있는 정보의 범위를 확장 시킨다.
- 사용자에게 제공하는 정보는 현실 세계와 연결이 수반되어야 한다.
- 디스플레이 된 정보는 사용자의 조작 없이 사라지거나 변형되면 안 된다.
- 증강된 정보는 안정적인 형태로 디스플레이 되어야 한다.
- 증강된 정보가 사용자의 관심 영역에서 벗어나더라도 증강된 정보는 사라지면 안 된다.
- 시스템은 사용자에게 개별화된 정보를 제공할 수 있어야 한다.
- 시스템은 다량의 정보를 선별할 수 있어야 한다.
- 시스템은 사용자에게 적절한 시기에 정보를 제공해야 한다.
- 시스템은 사용자에게 정보를 간결하게 제공해야 한다.

(2) 비 기능성

(가) 수행 효율성

- 시스템은 정상 상태에서 사용자의 특정 태스크 요청에 의한 결과를 4초 이내에 보여주어야

한다.

- 시스템은 사용자가 가상 물체와 상호작용을 할 때 즉각 반응해야 한다.
- 시스템은 사용자가 동시에 요청하는 태스크를 처리 할 수 있어야 한다.
- 스몰 디바이스로 사용자 요청을 처리하는 데 있어 대등한 퍼포먼스를 만들어 낼 수 있다.

(나) 사용성

- 사용자에게 사용법, 도움말을 제공해야 한다.
- 사용자는 사용법, 도움말을 참고하지 않고도 사용할 수 있어야 한다.
- 사용법이 간단하고 쉬워야 한다.
- 시스템은 콘텐츠 모양이나 배치를 이해하기 쉽게 구성해야 한다.
- 시스템은 빠른 기능 찾기를 위한 내비게이션 기능을 제공해야 한다.
- 시스템은 사용자가 주체가 되어 콘텐츠를 제어하거나 통제할 수 있어야 한다.
- 실행 시에 사용에 대한 부담을 최소화하기 위해 사용자에게 직관적인 인터랙션을 제공해야 한다.
- 실행 시에 오류를 최소화하기 위하여 사용자가 시스템 동작을 취소할 수 있는 기능을 제공해야 한다.
- 시스템은 취소 동작을 1초 이내에 수행해야 한다.
- 장애인, 고령자 등의 정보 접근성 높이기 위해 가상 정보의 모양, 크기 등을 적절히 제공한다.
- 시스템은 사용자에게 정보를 간결하게 제공해야 한다.
- 사용자의 요구에 적합한 정보를 제공해야 한다.

(다) 신뢰성

- 증강현실 시스템은 정상 상태에서 사용자가 접속하는 동안 무중단 서비스를 제공해야 한다.
- 시스템은 장애 발생 시 대체 작동하여 무중단 서비스를 제공해야 한다.
- 시스템은 부정확한 정보 정합으로 인한 오류를 확인해야 한다.
- 오류나 결함이 발생했을 때 자가 극복하고 정상 작동이 가능해야 한다.
- 시스템 실행 중 중단되었을 때 데이터를 복원해야 한다.
- 사용자가 모바일 디바이스를 사용하여 시공간에 구애받지 않고 언제, 어디서나 접속할 수 있어야 한다.
- 사용자가 접근을 요청했을 때 사용자 요구에 맞는 서비스를 제공해야 한다.
- 사용자의 요구에 맞는 기능적으로 적절한 동작이 가능해야 한다.

- 네트워크 전달 지연을 최소화해야 한다.
- 사용자는 디바이스를 착용한 상태에서 움직임이 자유로워야 한다.
- 증강현실이 지원하는 디바이스는 사용자가 조작에 대한 어려움을 최소화해야 한다.

(라) 보안성

- 인증을 받은 사용자만 시스템에 접근할 수 있어야 한다.
- 코어 데이터는 인증받은 최상위 사용자만 수정할 수 있어야 한다.
- 사용자에게 연계된 데이터를 제공하는 경우 데이터의 정확성을 검증해야 한다.
- 보안 사고가 발생하여 데이터가 변조, 손실된 경우 데이터를 복구해야 한다.

시스템 품질을 측정하기 위한 최하위 계층의 테스트 케이스이며 본 테스트 케이스를 기반으로 품질측정 인자를 적용하여 가중치를 도출한다.

라) MR 환경 기반 ATC/M 시스템의 평가 수치화

하위 특성 요소 간 쌍대 비교를 실시하여 매트릭스에서 분석한 결과에 따르면 실제 운용 환경 기반 시스템의 경우는 하위 요소 간의 비교를 수행한 전체 순위 중 상위 5요소는 기밀성, 무결성, 요소 활용성, 결점 완화, 회복 가능성 순이었으며, 실제 업무 작업 효율이 중요한 만큼 시스템 자체의 안전성에 대해서 중요하게 생각하고 있음을 확인할 수 있다. [표 9]

ANP 분석을 통해 상위, 하위 요소 간 중요도, 우선순위를 파악할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 품질평가 Metrics에 적용하여 실험한다.

표 9. 실제 운용환경 기반 가중치 분석 결과

구분		구분별 순위		Normalized by Cluster	구분 내 순위	Limiting	전체 순위
기능 적합성	기능적 성숙도	0.1505	5	0.3300	2	0.0497	11
	기능적 정확도			0.3788	1	0.0570	9
	기능적 타당성			0.2912	3	0.0438	13
수행 효율성	시간 반응성	0.1412	4	0.4736	2	0.0669	6
	요소 활용성			0.5264	1	0.0743	3

사용성	학습성	0.2395	2	0.1369	5	0.0328	16
	타당성 식별력			0.1336	6	0.0320	17
	운영성			0.1469	4	0.0352	15
	사용자 오류 보호			0.1620	3	0.0388	14
	사용자 인터페이스 미학			0.2233	1	0.0535	10
	접근성			0.1974	2	0.0473	12
신뢰성	성숙성	0.2681	1	0.2406	4	0.0645	8
	가용성			0.2472	3	0.0663	7
	결점완화			0.2615	1	0.0701	4
	회복 가능성			0.2507	2	0.0672	5
보안성	기밀성	0.2007	3	0.5652	1	0.1134	1
	무결성			0.4348	2	0.0872	2

소프트웨어 품질 값은 앞서 제시한 Metrics을 통해 통합 Metrics을 도출할 수 있는데, 각 속성의 값을 합하여 증강현실 기술기반 소프트웨어 품질 값을 수치화 할 수 있다. 소프트웨어 품질 값의 범위는 0에서 1사이 값으로 도출되며 1에 가까울수록 좋은 품질의 소프트웨어로 볼 수 있겠다.

각 속성 값에 대한 가중치를 W , Metrics 값을 Q 로 정의하면 통합 Metrics 식은 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i \quad (16)$$

본 연구에서 제시하는 실제 운용 환경기반 콘텐츠 가중치를 적용하여 Metrics을 도출하였으며 그 결과는 다음과 같다.

표 10. 증강현실 기술기반 실제 운용환경 분야 가중치 적용 결과

상위속성	하위속성	Metric	Weight	Result	순위
기능 적합성	기능적 성숙도	1.0000	0.0497	0.0497	9
	기능적 정확도	0.9000	0.0570	0.0513	8
	기능적 타당성	0.0000	0.0438	0.0000	13
수행 효율성	시간 반응성	1.0000	0.0669	0.0669	4
	요소 활용성	0.0000	0.0743	0.0000	13
사용성	학습성	0.0000	0.0328	0.0000	13
	타당성 식별력	0.7000	0.0320	0.0224	11
	운영성	0.5000	0.0352	0.0176	12
	사용자 오류보호	0.0000	0.0388	0.0000	13
	사용자 인터페이스 미학	1.0000	0.0535	0.0535	7
	접근성	0.0000	0.0473	0.0000	13
신뢰성	성숙성	1.0000	0.0645	0.0645	6
	가용성	1.0000	0.0663	0.0663	5
	결점완화	0.5000	0.0701	0.0351	10
	회복가능성	1.0000	0.0672	0.0672	3
보안성	기밀성	1.0000	0.1134	0.1134	1
	무결성	1.0000	0.0872	0.0872	2
계	0.6950				

표 11. 증강현실 기술기반 실제 운용환경 분야 Metrics 평가 점수 결과

상위속성	하위속성	테스트 표본	테스트 성공 횟수	산출 점수
기능적합성	기능적 성숙도	10	0	1.0000
	기능적 정확도	20	2	0.9000
	기능적 타당성	20	0	0.0000
수행효율성	시간 반응성	1	1	1.0000
	요소 활용성	0	0	0.0000

사용성	학습성	10	0	0.0000
	타당성 식별력	10	7	0.7000
	운영성	10	5	0.5000
	사용자 오류 보호	0	0	0.0000
	사용자 인터페이스 미학	1	1	1.0000
	접근성	10	0	0.0000
신뢰성	성숙성	10	10	1.0000
	가용성	20	20	1.0000
	결점완화	2	1	0.5000
	회복가능성	1	1	1.0000
보안성	기밀성	1	0	1.0000
	무결성	1	0	1.0000

실제 운용 환경기반 시스템 기준 가중치를 적용한 결과 하위요소를 기준으로 기밀성, 무결성, 회복 가능성, 시간 반응성, 가용성 순으로 5가지 항목에서 높은 점수를 획득했다. 기밀성, 무결성, 요소 활용성, 결점 완화, 회복 가능성 순으로 상위 5개의 항목과 비교하여 기밀성, 무결성, 회복 가능성에 있어서 유사한 가중치로 결과가 도출되었지만, 요소 활용성과 결점 완화에 대한 가중치는 비교적 하위권에 머무른다.

본 연구에서 제시하는 Metrics에 적용한 결과를 수치화하면 해당 시스템은 0.6950의 점수를 획득하였다.

2) 외부 품질

가) 1차 전문가 평가 및 피드백

본 시스템은 특정한 타깃 사용자가 존재한다. 따라서 전문가 테스트를 동반하여 시스템 검증이 이루어져야 하므로 관제업무 경력 31년의 두 명의 전문가를 초대하였다.

피험자의 평균연령은 61.5세의 남자이며, 홀로렌즈 기기가 익숙하지 않을 것으로 생각되어 시스템과 디바이스의 사용법에 대한 교육을 진행 후 시스템 평가 테스트를 수행했다.

본 시스템에 대한 유저빌리티 테스트는 유용성, 사용 편의성, 학습 용이성, 만족도의 네 가지 영역을 기준으로 진행되었다. 또한, 사용자의 평균연령을 고려하여 홀로렌즈 사용성 관련 질문지도 작성하였다.

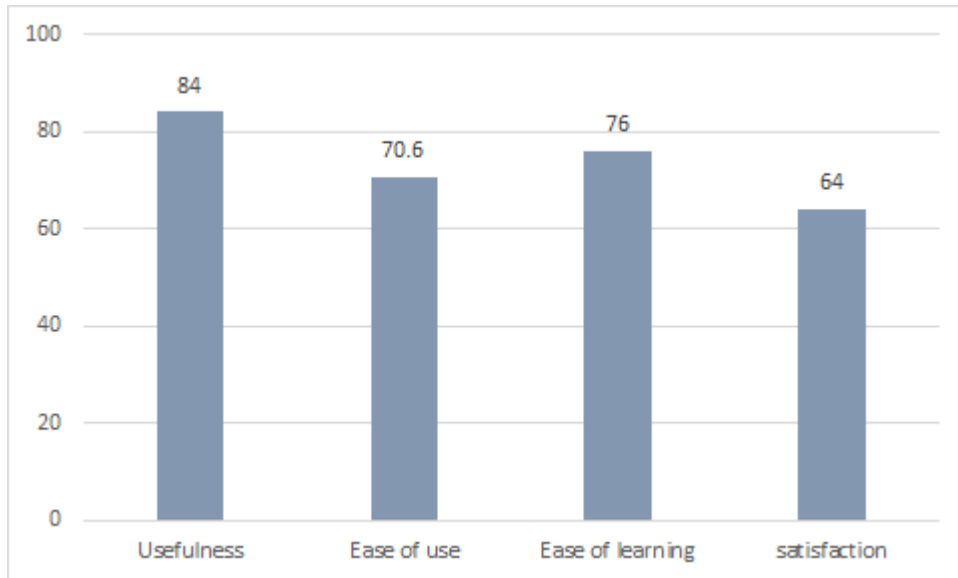


그림 65. 1차 전문가 테스트 결과

유용성에 있어서 가장 높은 점수를 얻었으나 나머지 항목에서는 낮은 점수를 기록했다. 이는 홀로렌즈 사용성 결과와 연관 가능성이 높다. 실험을 수행하는 동안 피험자들은 좁은 시야각, 낮은 인터랙션 방식 등을 지적했다. 터치 인터랙션에 익숙한 피험자들의 경우 Hololens의 제스처 입력 방식이 익숙하지 않았다. 이러한 기기적인 한계들이 시스템 사용성 결과에 영향을 미친것으로 사료된다.

나) 2차 전문가 평가 및 피드백

1차 전문가 평가와 항공기 Data Block이 항공기의 Heading 방향에 따라 움직이는 문제점이 있어 데이터 식별의 어려움이 따랐는데 이러한 피드백을 반영하고 1차 실험의 피험자 중 한 명을 초대하여 2차 전문가 평가를 진행하였다.

유용성, 학습 용이성, 사용 편이성 등 전체적으로 1차보다 상대적으로 낮은 결과가 도출되었으나 만족도 측면에서는 높은 결과를 도출하였다. 특히 사용 편이성, 학습 용이성에 있어서 좋지 못한 결과를 도출하였는데 디바이스에 대한 의견 수렴 결과 Hololens 디바이스 사용성에 대한 문제점을 꾸준히 지적했다며 홀로렌즈의 좁은 시야각이 본 연구가 제안하는 시스템 품질에 영향을 미쳤다고 응답했다.

1차에서 피드백이 상당 부분 반영이 되었다고 응답한 결과와 시스템 만족도 점수로 미루어보아 1차보다 개선되었다고 볼 수 있다.

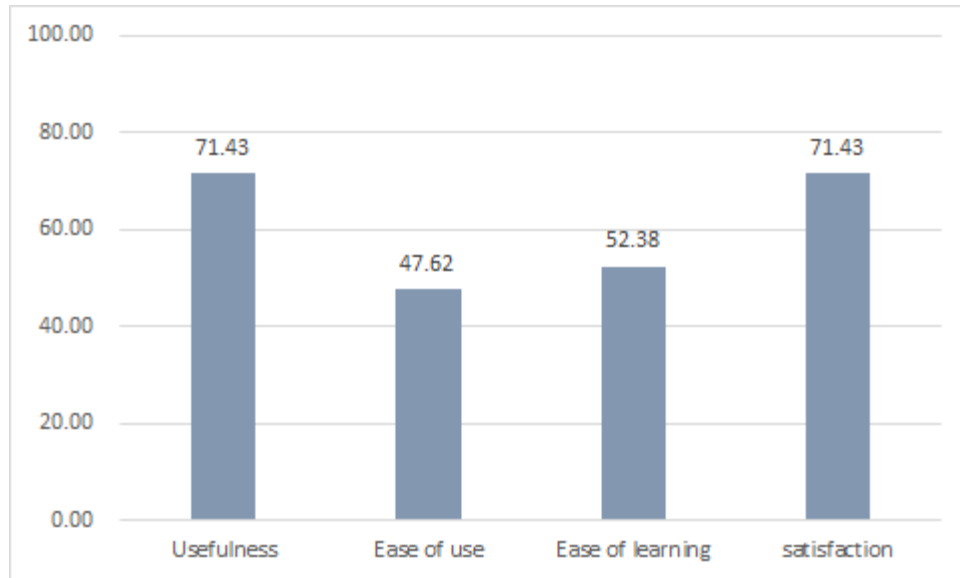


그림 66. 2차 전문가 테스트 결과

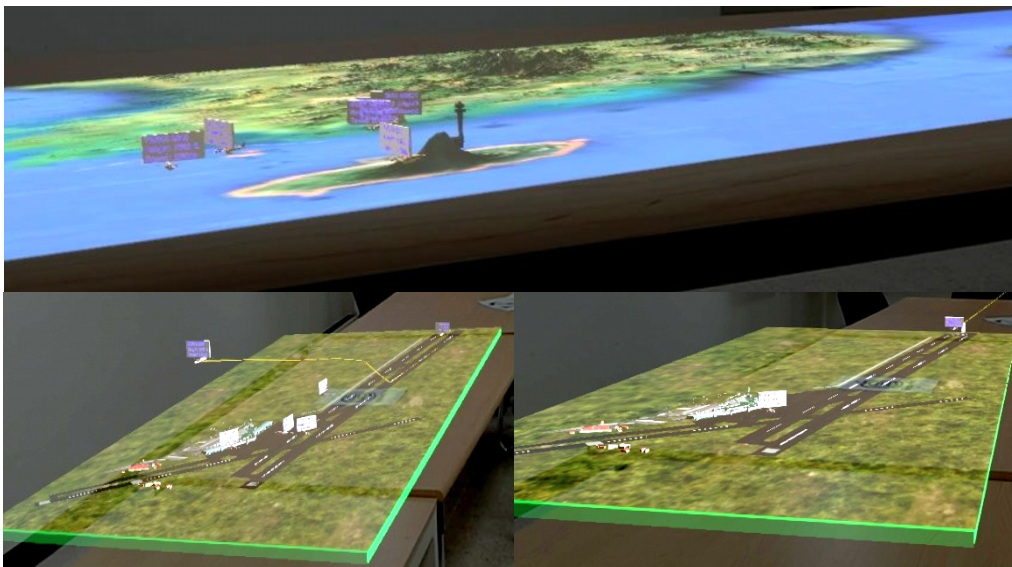


그림 67. MR 기반 ATC/M 시스템 최종 결과물

라. 연구개발 성과

1) 논문 게재 성과

게재 연도	논문명	주저자명	학술지명	Vol. (No.)	국내 / 국외	SCI / 비SCI	등록 · 기탁 번호
2019	Holographic Mixed Reality System for Air Traffic Control and Management	Kyungjin Han	Applied Sciences	Vol.9, No.16	국외	SCI(E)	
2019	Mixed Reality Simulation of a Quadcopter with a DHEM Device for Planet Landers for Soft Landing – A Review	Ashish Kumar	International Journal of Advanced Science and Technology	Vol.28, No.14	국외	비SCI	2005-4238

2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	A study of a Mixed Reality Simulation Based on a Quadcopter	윤석준	18.12.01	Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference 2018	미국
2	Authoring Tool for Generating Multiple Experiences of 360 Virtual Reality	Syed Hammad Hussain Shah	18.12.18	CSA 2018	말레이시아
3	Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Simulation in the Airport Environment	Ashish Kumar	18.11.28	한국항공우주학회 2018 추계 학술대회	한국
4	Conceptual Design of Mars Landers using Rotorcraft Technologies	Ashish Kumar	18.11.28	한국항공우주학회 2018 추계 학술대회	한국
5	MUSE를 이용한 차세대 항공교통관제체계 시제 개발 방안	박세호	18.11.28	한국항공우주학회 2018 추계 학술대회	한국
6	레이더 시뮬레이션을 위한 전파 서비스의 ICD 구성	박찬홍	19.01.24	한국통신학회 2019 동계 학술대회	한국
7	항공교통관제 모의를 위한 개념시제 개발	박세호	19.01.24	한국통신학회 2019 동계 학술대회	한국

8	Live Flight Simulation of an Unmanned Aerial Vehicle Based on X-Plane	Ashish Kumar	19.06.20	KICS 2019 Summer Conference	한국
9	Interaction Paradigms for Air Traffic Control & Management in Mixed Reality	이종원	19.08.04	HCI International 2019	미국
10	Development of Mixed Reality Simulation based on an Unmanned Aerial Vehicle	Ashish Kumar	19.09.21	CHIRA 2019 – 3rd International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications	오스트리아
11	Development Scheme of ATC Simulation Based on MR Technology	박세호	19.12.20	ICNGC 2019 – The 5th International Conference on Next Generation Computing 2019	태국

2) 특허 성과

가) 출원

출원 연도	특허명	출원인	출원국	등록 · 기탁 번호
2019	무인항공기 및 X-Plane 기반 혼합현실 시뮬레이션	세종대학교 산학협력단	대한민국	10-2019-0172695

나) 등록

등록 연도	특허명	출원인	출원국	등록 · 기탁 번호

3) 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 · 기탁 번호
2018	중간보고서	18.11	
2018			

4) 소프트웨어

연도	소프트웨어명	소프트웨어 구분	등록 · 기탁 번호
2018	MUSE(뮤즈)	응용소프트웨어	C-2018-035364
2018	Interaction Mechanisms for Mixed Reality(복합현실)	응용소프트웨어	C-2018-035455
2019	Interaction Paradigms for Air Traffic Control in Mixed Reality(혼합현실 기반 항공관제 인터랙션 체계연구)	응용소프트웨어	C-2019-040873
2019	MUSE PLUS(뮤즈플러스)	응용소프트웨어	C-2019-040895

마. 연구결과

1) 기술적 성과

- ♦ **현 관제사를 대상으로 한 요구도 조사:** 실제 운용환경이 복잡한 만큼 시스템 개발에 앞서 심도 있는 데이터 추출이 필요했다. 제주국제공항을 선정하여 해당 공항의 교통 관제사를 대상으로 현 관제 시스템의 문제점, 보완 사항 등의 도출을 위한 설문을 진행하였다. 안전과 직결된 업무 특성상 관제업무에 방해가 되지 않는 선에서 정보 수집과 인터뷰가 허락 및 접촉이 쉽지 않은 피험자인 만큼 관제탑에 방문한 시점 기준 설문에 응할 수 있는 관제사를 대상으로 설문 조사를 수행하였다.
- ♦ **시스템 통합을 통한 관제사 업무 효율성 증대:** 일반적으로 항공관제는 관제사에 의해 처리되므로 항공관제의 복잡도를 감소시키는 것이 중요하다. 현재 동일한 기능을 지닌 여러 가지 관제 시스템이 존재할 뿐만 아니라 선별하지 않은 방대한 양의 정보를 제공하는 것은 항공관제의 복잡도를 증가시키는 요인이 될 수 있다. 본 연구를 통해 별도의 공간이 아닌 실제 사용 공간인 인터랙티브 환경에서 관제사가 사용하는 항공데이터를 통합하고 선별하여 제공한다. 제스처 인식과 음성명령과 같이 직관적인 인터랙션과 함께 정보의 이해도 상승에 효과적인 4D Multiple View, 3D Spatial sounds 기능을 지원한다. 관제 판단에 도움을 주는 정보를 선택적으로 제공함으로써 관제사의 업무량을 감소시키는 등의 관제업무에 대한 효율성과 생산성을 증진 시킬 수 있다.
- ♦ **비상 상황에 관제 판단에 도움:** 악기상 등으로 인한 저 시정상태에서는 관제업무에 대한 부담이 높아질 것이다. 가능한 한 추가적인 정보를 적극적으로 제공함에 따라 비상 상황에 대한 빠른 판단과 대처를 기대할 수 있다. 또한, 입력, 요구사항 또는 경고 등을 관제사가 논리적으로 쉽게 인식할 수 있는 환경을 제공할 수 있다.
- ♦ **사고 경위 파악 도구로서의 활용 가능성:** 사고의 발생 경위를 파악하기 위해 다양한 단위 사건 및 환경 조건들을 대입시키고 정확한 인과관계를 분석하는 것이 중요하다. 관제

사들 또한 사건 경위 파악을 위한 회의 소집과 교육을 진행하는 것으로 조사되었으며 사고의 원인과 유사 사고의 재발을 막기 위한 예방대책을 수립하기 위한 체계적인 방법이나 도구가 필요한 실정인데, 사고 경위 파악 도구로서 본 연구의 활용을 기대할 수 있다.

- ◆ **웨어러블 디바이스 기반 시스템 품질평가 측정 모델 개발:** 증강현실 기술기반 시스템에 대한 품질평가 모델의 부재로 인하여 사용성 평가가 시스템 품질 보증 역할을 대신하고 있다. 하지만 본 연구는 실제 운용환경에서 사용 가능한 보조 시스템인 만큼 안정성과 신뢰성이 뒷받침이 필수적이다. 따라서 전문가의 사용자 경험 측정과 함께 품질 수준을 정량적으로 평가할 수 있는 적합한 지표를 개발하고 품질 수준을 수치화시키는 등의 연구를 수행하였다.
- ◆ **개선된 수준의 시뮬레이션 엔진 개발:** 이전에 사용하던 시뮬레이션 엔진을 다방면으로 개선하였다. 시뮬레이션 속도를 향상시키고, 항공기 모델을 객체화하여 동시에 다수의 항공기에 대해 시뮬레이션하고, 지상활주모형을 추가로 개발하였다.

2) 경제적 성과

- ◆ **교육 훈련체계로서의 활용 가능성:** ICAO에서는 사전 훈련을 통해 항공사고를 미연에 방지할 수 있고 사고 예방과 사고 발생 시 대처능력을 함양할 수 있도록 항공교통관제사의 시뮬레이터 교육 확대를 권고하고 있다. 항공 선진국에서는 정상 • 비정상 상황 시 관제사의 신속한 대처능력을 향상시키기 위해 비행장 관제 시뮬레이터를 도입하고 주기적인 훈련을 실시하고 있는데 본 시스템을 ATC 시뮬레이터 또는 교육 훈련 도구로 활용하면 해당 문제를 상당 부분 해소할 수 있을 것이다.
- ◆ **관제시설 제약의 극복 가능성:** 매년 증가하는 공항 운항 밀도로 인한 문제를 해소하기 위해 관제장비를 교체하거나 추가하는 등의 노력을 기울이고 있지만 언제나 재정적인 한계는 존재한다. 이러한 한계를 극복하고 안전사고 확률을 감소시키기 위해 관제시스템에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 국내 사례에서는 제주국제공항 관제탑의 경우 이 • 착륙하는 활주로 근방의 주요 지역을 관제탑 기둥이 가리면서 메인 활주로는 보조 활주로의 교차지점의 시야를 방해하고 있는 것으로 나타난다. 실제로 공간 가려짐으로 인한 항공기 활주로 침범사태가 발생했으며 이는 충돌 사고의 위험이 있음을 보여준다. 레이더 관제장비와 음성통신 제어장치는 내구연한이 초과했고 관제장비에 대한 기술점검을 통해 다수의 항목에서 오류가 확인되었다. 이로 인해 관제장비 교체와 관제탑 신축에 대한 필요성이 대두되었지만, 시급성이 떨어진다는 이유로 재정 편성이 반려되었다. 본 시스템은 관제시설 신축, 장비 교체에 투입되는 구매비용을 절감하고 실제 운용환경에서 관제업무의 주목적을

수행하는 데 있어 상호보완적인 도구로 활용될 수 있다. 이러한 방식으로 재정적 제약을 극복하는 대안으로 사용될 수 있을 것이다.

- ◆ **원격 항공관제소 운용 가능성:** 제주국제공항을 포함하여 항공교통관제사들이 배치되기를 꺼려하는 공항이 있다. 또한 안전한 관제구역 운영을 위해서 일정 교통량 이상의 공항에는 관제사를 배치하여 유인관제소를 운영하여야 한다. 본 연구를 통해 혼합현실 기술을 항공교통관제 분야에 적용이 가능함을 확인하였으며, 실제 환경에 시스템을 구축할 경우 항공관제 업무를 원격으로 진행할 수 있게 될 것이다. 그렇다면 모든 공항과 접근관제소에 배치하는 인력을 최소화 할 수 있고 거기에 따른 부대비용을 절약할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

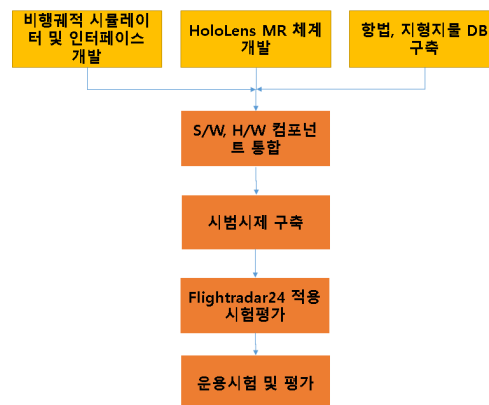
3-1. 목표

구분	내용
최종 목표	MR 기반 관제체계 개념설계 검증을 위한 시범 시제
세부 목표	· 항공기 비행궤적 4D 시뮬레이션 엔진 · 웨어러블 디바이스 기반 실시간 인터랙티브 환경 시스템 구축 · Gesture 기반의 Multi-modal 인터랙션 기술 연구 및 설계 · Mixed Reality 소프트웨어 기반 Quality assurance 진행 및 사용성 평가 항목 지표 연구 개발

① 개발 목표 : MR기반 ATC/M 시범시제 개발 및 시험평가

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(기관 명칭 기입): 세종대학교 산학협력단
- 항공우주공학과 : 비행궤적 상세화 및 시스템 통합
- 소프트웨어공학과 : 다양한 UI/UX 개발 및 시스템 통합
- 비행궤적 시뮬레이터의 연동을 위한 인터페이스 개발
- S/W, H/W 컴포넌트 통합 및 시범시제 구축
- 실시간성 부여
- 실시간 항공기 데이터인 Flightradar24를 적용하여 시험평가
- 최종 운용시험 및 평가



- 시제 개발 방안

- 제주국제공항과 기타 시설물을 중심으로 STAR 차트와 APCH 차트에 해당하는 항법정보 데이터베이스 작업
- 실제 관제 보조용 툴과 훈련용 툴을 병행하여 개발

- 정상상황에 대하여 이착륙 등의 움직임이 더욱 직관적으로 표시되게 개발
- 비정상상황에 대하여 관제사가 더욱 효율적으로 상황을 인지할 수 있는 UI/UX 개발
- 가상의 비정상 시나리오를 생성하여 관제사 훈련용으로 활용
 - Emergency landing
 - Direct Flight
 - Radar Vector
- 보간(interpolation) 기술을 활용, 이산적인 항적 정보를 연속적으로 보이게 하여 관제사에게 더욱 현실적인 화면정보 제공

- 실시간성

- 미국의 경우 비행체 측위 DB의 실시간 열람은 가능하나 제어는 불가
- 우리나라의 경우 본 과제에서 활용하는 Flightradar24와 같은 웹사이트에서만 약간의 delay를 갖는 실시간 데이터에 접근 가능
- 접근이 가능한 범위 내에서 실시간성 확보 예정

3-2. 목표 달성 여부

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성 치	측정방법	검증방 법	기준 치		
주관	1	웨어러블 환경 지원 MR 가시화	1-1	MR 기반 콘텐츠 저작 및 가시화 소프트웨어	①	정합오차 (픽셀 거리)	평균 1.5 이하	0.9	웨어러블 환경에서 실험	평균 정합오차 측정	5%	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 SW: <u>1</u> 건
					②	렌더링 속도(fps)	30	32	웨어러블 환경에서 실험	렌더링 속도 확인	5%	
			1-2	인터랙티브 신호 처리 소프트웨어	①	전달지연 (sec)	0.1	0.065	웨어러블 환경에서 실험	입력 신호와 렌더링 간의 시간 측정	10%	
	2	항공기 비행 궤적 4D 시물레이 션	2-1	BADA 기반 항공기 비행궤적 모델링	①	유인항공기 성능 모델 수	10종	18종	PC환경에 서 실험	항공기 모델 개수 측정	10	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 SW: <u>1</u> 건
					②	무인항공기 성능 모델 수	5종	5종	PC환경에 서 실험	항공기 모델 개수 측정	10	
					③	비행궤적 오차	5%	3.83%	PC환경에 서 실험	실제 비행궤적	10	

3	MR 기반 미래 관계탐 관계 체계 설계	3-1	MR 기반 관계탐 관계체계 모델링 및 시뮬레이션 소프트웨어	①	콘텐츠 수 (공항 개수)	1종	1종	웨어러블 환경에서 실험	공항 모델 개수 측정	20	특허: 출원 <u>1 건</u> 등록 <u>1 건</u> 논문: <u>1 건</u> 시제품: <u>1 건</u> S/W: <u>1 건</u>
					UI/UX 종류	2종	2종	웨어러블 환경에서 실험	웨어러블 환경에서 실험	20	
		3-2		②	MR 기반 관계 시뮬레이션 소프트웨어 테스팅 평가 지표 개수	1종	1종	웨어러블 환경에서 실험	웨어러블 환경에서 실험	10	
		계									

- 특허출원 목표 1건 대비 1건 달성
- SCI논문 목표 2건 대비 1건, 비SCI 논문 1건 달성
- 시제품 목표 1건 대비 1건, S/W 등록 목표 3건 대비 4건 초과달성
- 학술발표 목표 1건 대비 11건 초과달성

성과	계획	실적	비고
특허	출원 1건	출원 1건	달성
논문	SCI 2건 / 비SCI 1건	SCI 1건 / 비SCI 1건	SCI 논문 1건 부족
시제품	1건	1건	달성
S/W 등록	2건	4건	초과달성
학술발표	1건	11건	초과달성

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후 대책(후속연구의 필요성 등)

- 양적 성과 건수로 SCI급 논문 1건이 미달이지만 SCI급 논문 심사에 일반적으로 1년 이상이 소요되어 아직 1편의 논문은 심사 중으로 논문 게재까지 추가 시간이 소요될 것으로 예상함.

4. 연구개발성과의 활용 계획

가. 추가연구의 필요성

- ◆ **기술 검증·보완:** 본 연구는 미래의 항공교통을 대비하기 위하여 Mixed Reality 기술을 활용하여 새로운 해법을 찾아보는 연구로 짧은 기간에 그 가능성 확인을 목적을 하였다. Mixed Reality 기반 항공관제 시스템 기술 개발의 다음 단계로는 기술을 검증하고 도출된 문제를 보완하는 연구가 필요하다. 이를 위해서는 공항 관제사들과 긴밀한 협조와 현장에 대한 추가적인 이해가 필요하다.
- ◆ **멀티 유저 지원:** 본 연구는 Mixed Reality 기반 항공관제 시스템의 가능성을 확인하기 위하여 단일 사용자만을 지원하고 있다. 하지만 개발된 시스템의 효용성을 확대하기 위해서는 여러 사용자가 함께 본 시스템을 사용할 수 있는 시스템으로 확대가 필요하다. 다수 사용자와 협력을 하는 시스템으로 확대를 통해 새로운 과제절차, 공항, 활주로 등의 설계 시 가상시험 툴 및 위험 상황에 대한 사례교육 등으로 활용 범위가 확대될 수 있을 것으로 예상된다.
- ◆ **현장 중심적인 연구:** 본 연구에 사용한 시각화장비 특성 상 몇 가지 제약이 존재한다. 주된 문제는 시야각이 좁다는 문제로 하드웨어 개선 시 추가 연구가 필요하다.
또한 미래지향적인 과제 특성 상, 현장에서는 즉각적인 활용이 어렵다는 의견이 있었다. 본 연구는 원천기술에 대한 연구로 차세대 항공교통관제 시스템을 제안하는 데에 초점이 맞추어져 있다 보니 현장에서의 거부감이 존재한다는 사실을 인지하고 있다. 연구한 원천기술들을 이용하여 보다 현장 중심적인 연구를 진행하면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것이라고 기대한다.

나. 타 연구에의 응용

- ◆ **공항환경 교육 및 체험 시스템:** 본 시스템을 응용하여 공항환경 설계, 교육 및 체험제공 등에 활용 가능한 Mixed Reality 시스템 연구 및 개발이 가능할 것으로 생각한다. 새로운 관제절차, 공항, 활주로 등의 설계 시 사전에 현장과 연계된 시각화는 새로 구축되는 환경에 대한 이해도를 향상시키고 오류를 줄일 수 있으며 공항 시스템 교육 및 일반인 체험 지원 시스템 연구에도 응용이 가능할 것이다.
- ◆ **ATC 교육 시스템:** ATC 업무는 고도의 집중이 필요한 업무로 사전 훈련이 필요할 것으로 예상된다. 개발된 시스템을 응용하여 다양한 항공사고 등을 사전에 체험하고 해결책을 도출하는 훈련을 통해 사용자는 ATC 업무에 익숙해지고 항공사고 등에 대한 대처능력을 함

양할 수 있을 것으로 예상되어 개발된 시스템을 ATC 시뮬레이터 또는 교육 훈련 시스템 연구에 응용이 가능할 것이다.

- ◆ **무인항공기 개발과 연계:** 다소 보수적인 항공분야에서 본 연구에 대한 항공교통관제(ATC) 분야에서의 즉각적인 응용은 기대하기 어렵다. 다만 10년 정도의 장기 계획에서는 현장에서도 본 연구를 응용한 새로운 시스템 적용을 기대해 볼 수 있다. 반면 관제 현장이 아닌 항공교통관리(ATM)의 측면에서는 사고 예방 및 효율적인 공역 관리를 위해 본 연구에 대한 결과를 고려해 볼 필요가 있다. 거대해진 무인항공기 시장에 따라 혼합현실 기반 무인기 시뮬레이션은 보다 다양한 사업화 가능성이 있다. 무인항공기는 군수 쪽에서나 민간 쪽에서나 다양한 연구가 진행되고 있지만 특히 군에서 사용하는 무인항공기에 대한 혼합현실 응용연구가 가능할 것으로 예상된다. 대한항공이 진행하고 있는 사단급 무인항공기 KUS-9 개발 사업이 있는데, 이와 같은 연구에 혼합현실 기술을 접목한다면 더욱 다양한 용도로서의 확장성을 갖게 될 것이라고 기대한다.

다. 기업화 추진 방안 등을 기술

- ◆ 본 기술은 미래의 항공교통을 대비하기 위한 기술 개발로 공항 한 곳의 환경에 최적화된 ATC/M 시스템 구축 및 테스트를 시작으로 다양한 분야의 활용성을 증빙하고 이를 기반으로 기업화 추진이 가능할 것이다.
- ◆ 공항 한 곳의 성공적인 적용을 통해 미래의 항공교통의 확인된 가능성 및 안정성은 다른 국내 및 해외 공항에서 새로운 ATC/M 시스템의 적용을 고려할 것으로 예상되며 이러한 계기를 통해 실질적인 기업화가 가능할 것이다.

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.