

PAV 등 미래항공서비스의 운항 안전을 위한 기상정보 서비스 모델 연구 최종보고서

2019 . 4 . 4 .

주관연구기관 / 한서대학교 산학협력단
협동연구기관 / (주)미래기후

2018

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

PAV 등 미래항공서비스의 운항 안전을 위한
기상정보 서비스 모델 연구 최종보고서

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

'PAV 등 미래항공서비스의 운항 안전을 위한 기상정보 서비스 모델 연구'(연구개발 기간 : 2017. 4. 1 ~ 2018. 12. 31) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019 . 1 . 31 .

주관연구기관명 : 한서대학교 산학협력단 (대표자) 김 현 성



공동연구기관명 : (주)미래기후 (대표자) 류 성 현



주관연구기관책임자 : 구 성 관

협동연구기관책임자 : 류 성 현

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTP-C1297 33-01	해당 단계 연구 기간	2017.04.01. ~ 2018.12.31	단계구분	1 / 1
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	PAV 등 미래항공서비스의 운항 안전을 위한 기상정보 서비스 모델 연구			
	세부과제명				
연구책임자	구성관	해당단계 참여연구원 수	총: 16 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 367,000 천원 민간: 123,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 490,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 16 명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부: 367,000 천원 민간: 123,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 490,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한서대학교 산학협력단 / 항공산업공학과			참여기업명	(주)미래기후
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

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

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	4	1				1					

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	○ PAV 등 미래형 항공서비스의 안전한 운항을 위하여 기본적으로 필요한 기상정보 서비스 방안 제시 ○ 수치 예보 모델, 항공기상정보, 영상정보 등을 활용하여 기존 항공기상서비스와 차별되는 새로운 형태의 기상서비스 플랫폼의 시제품 개발을 통한 TRL 4 수준의 기술 확보 ○ 기상 분석 기술 및 PAV 등 운영 개념 분석 및 미션 설계 - 현재의 항공기상정보 서비스 분석 - PAV 등 미래형 항공서비스의 운영 개념 분석 - 서비스 모델 미션 설계 ○ 기상정보 서비스 모델 설계 및 시제품 개발 - 기상정보 서비스 모델 설계 - 기상청 수치예보 모델 자료 / 시각 정보를 활용한 플랫폼 개발				
연구개발성과	○ PAV, 비가시권 무인비행체, 저고도 운항 자율비행체 등 미래형 항공서비스의 안전한 운항을 위한 기상정보 서비스 플랫폼 시제품 개발 ○ 기술적 측면 - PAV 등 미래항공서비스의 운항안전을 위한 기상정보 핵심 기술 확보 - 수치예보모델 자료와 현실적 시각정보를 활용한 융복합적 서비스 방안 제시 - 사용자 능동적 기상정보제공 시스템의 원칙 기술 확보 ○ 경제적 측면 - 외국 업체가 독점하고 있는 항공기상서비스의 수입 대체 효과 - 국내 7개 항공사가 미국T사, 일본W사에 지출하는 비용이 매년 총 5억 여 원에 이르고 있으나, 이들 서비스를 대체할 국산화 기술을 통하여 외화 절감 및 소요 인력 감축으로 업무의 효율성 증대 - 개발된 원칙 기술을 활용하여 미래의 PAV, 비가시권 무인비행체, 저고도 운항 자율비행체 등 미래 항공서비스에 직접적으로 제공하게 되어 상기 금액 이상의 부가가치 창출이 예상됨 - 연구개발 결과물 활용 후속 연구 추진 등을 통하여 사업 모델 개발 예정 ○ 사회적 측면 - PAV 등의 운항에서 기상정보를 효율적으로 사용하여 운항 안전이 확보되어 상용화되면, 항공, 해상, 지상 등 여러 교통 분야로 서비스 확대가 가능할 것임 - 능동적 실시간 항공기상정보제공 원천기술을 생활기상, 도로기상, 해운 기상 등 타 산업 분야의 기상정보 제공 및 위험 관리 기술로 확대 가능				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 국내 항공기상 수치예보 모델 자료 활용 및 현실적인 시각 정보를 활용한 융복합적 항공기상 서비스 방안 제시 ○ 서비스 사용자 능동적 실시간 기상정보 시스템의 민간 항공기상정보 사업화를 위한 원천 기술 확보				
국문핵심어 (5개 이내)	항공기상	기상정보	PAV	민간기상서비스	항공예보
영문핵심어 (5개 이내)	Aviation Weather	Weather Information	Personal Air Vehicle	Commercial Weather Service	Weather Forecast

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구개발 개요	1
나. 연구개발의 목표	2
다. 연구개발의 내용 및 범위	2
라. 연구 추진 전략 및 방법	3
2. 연구수행내용 및 성과	6
가. 연구개발 목표 및 결과	6
나. 주요 연구 내용	6
다. 연구개발 성과	144
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	148
가. 성과 목표 및 달성도	148
나. 연구성과 목표 및 달성도	150
다. 관련 분야 기여도	151
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	152
가. 기술 활용 계획 및 타 연구 응용	152
나. 추가 연구 필요성	152
다. 사업화 추진 계획	152
붙임. 참고 문헌	154

별첨. 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 개요

- 본 연구에서 수행하고자 하는 연구 범위는 PAV(personal air vehicle)와 같은 저고도 자율비행체 등 미래형 항공서비스의 안전한 운항을 위하여 반드시 필요한 기상 정보 서비스를 효과적으로 제시하기 위한 방안을 제시하는데 있음
- 현재에도 유사한 이동체의 개념 연구 및 초기 실증 단계의 연구가 수행되고 있는 형태이나, 4차 산업혁명 등 기술의 급속한 발전으로 연구 분야에 활용할 수 있는 파생적 기술의 개발이 적극 시도되고 있는 추세임
- 이러한 신기술이 항공서비스 등의 분야에서 시도되고 있으며, 이를 적극적인 기술 검토 등을 통하여 효과적인 연구 개발이 이루어질 필요성이 높아짐
- 본 연구의 1차년도 추진 당시에는 PAV의 최초 개념인 자동차처럼 자신의 집에서 출발하여 원하는 목적지로 갈 수 있는 개인소유 형태의 항공기로 고려되었으나,
- 현재 기술의 발전 범위가 지상에서 이동하는 자동차에서도 완전 자동주행에 관한 연구가 수행되고 있으며, 이를 이미 자동 비행이 적용중인 항공기에 연관된 기술로 정의하고 이것을 전제로 하여 PAV의 운영 개념 수정과 이를 지원하기 위한 기술적 지원을 위한 연구개발의 필요성이 커지고 있는 실정임
- PAV로 대표될 수 있는 미래형 항공운송서비스는 기본적으로 공역을 비행하는 비행체로서 안전한 비행을 위해서 목적지 또는 이동 경로의 날씨, 기상 상태 등의 확인이 필요함
- 이러한 과정에서 소형항공기의 자동 비행 또는 주행의 관점에서의 연구 필요성 인식이 필요할 것임
- 본 연구에서 개발된 시스템은 일반인에게도 항공적 지식 없이 직관적이고 쉽게 항공 기상의 중요 정보를 제공하는 것으로 목표로 하는 것으로서, 무인항공기, 드론, 비가시권 무인비행체, 저고도 자율비행체, PAV 등 미래형 항공서비스를 이용하는데 직접적인 도움이 될 것임
- 또한, 실제 공역 및 공간을 운항하게 되는 비행체의 운영을 위해서 계획 단계에서 안전한 운항 여부를 결정하거나 운항 단계에서 실시간 참조 정보를 제공 받는 것에 대한 3차원 정보 제공의 기반을 마련하고 이를 확산시킬 수 있을 것으로 기대됨

나. 연구개발의 목표

구분	내용
최종 목표	PAV 등 미래형 항공서비스의 운항 안전을 위한 기상정보 서비스 모델 개발
세부 목표	수치예보 모델, 항공기상정보, 영상정보 등을 활용하여 기존 항공기상서비스와 차별되는 새로운 형태의 기상서비스 플랫폼을 정의하고, 서비스를 위한 시제품 개발 및 개발 시험을 수행하여 TRL4 수준의 기술을 확보

다. 연구개발의 내용 및 범위

○ 개발 목표 구분

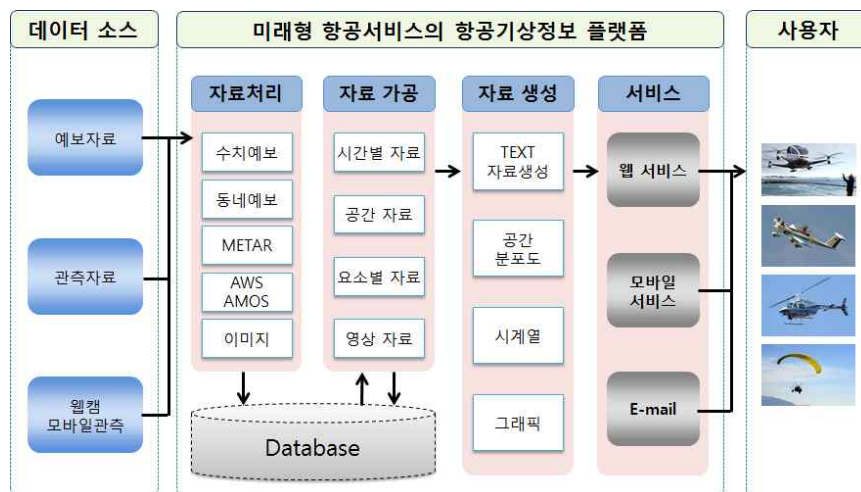
- 주관연구기관(한서대학교): PAV 등 미래항공서비스 운영 개념 분석 및 미션 설계, 기상정보 서비스 모델 설계 및 개발시험
- 공동연구기관((주)미래기후): 항공기상정보 서비스 분석, 기상정보 서비스 모델 시제품 개발



○ 주요 개발 내용 및 범위

- 연구과제 통합관리 / 시스템 통합
- PAV 운영 개념 분석, 저고도 항공기 운영 개념 분석
- 미래형 항공서비스의 운영 개념 분석
- 기상서비스 모델의 주요 목표 및 미션 설계
- 기상정보 수치예보 모델 분석
- 현재의 항공기상 서비스 형태 분석 / 국외 항공기상사업자 서비스 모델 분석
- METAR / TAF 등 항공기상 정보 운영 및 활용 특성 분석
- 국내외 기상서비스 자료 유형 및 형태 분석
- 개발 시제품 시스템의 데이터 프로세스 점검

- 영상 및 수치모델 자료의 제공 형태 확인
- 사용자 능동적 처리 시스템의 확인
- 국내 서비스 방안 수립
- 통합모델 자료 수집, 구조 분석, 처리 방안 설계
- 국지모델, 지역모델 자료의 해석 및 처리 방안 설계
- 바람, 온도, 구름, 강수 등 요소별 데이터 추출, 가공, 서비스용 자료 시범 생산
- 주요 기상 요소별 데이터 표출 기법 개발 (문자, 표, 그래프)
- 영상 및 수치모델 자료의 수집, 처리, 분석, 가공, 생성, 제공하기 위한 통합 플랫폼 개발



라. 연구 추진 전략 및 방법

- PAV 등 미래항공서비스의 운영 개념과 현재의 항공기상정보 서비스 비교 분석
 - PAV 운영 개념과 저고도 항공기 운영 개념을 분석하여 현재 활용 가능한 항공기상 서비스의 형태를 분석하고,
 - METAR/TAF, 관측자료, 예측모델자료 등 항공기상 정보 운영 및 활용 특성을 분석하고 미래형 항공서비스의 운영 개념과 함께 기상서비스 개선 방향을 수립함
- 미션 설계를 통한 최적의 기상서비스 방안 수립
 - PAV 등 저고도 비행의 기상 요소별 지역 지형별 취약점을 분석하고, Risk 분석 및 관리 기법을 적용하여 서비스 방안을 수립

- 시제품의 완성도 향상을 위한 실수요처 의견 수렴 및 개발 반영
 - 시제품의 개발 과정에서 실수요처 요구사항 반영을 위한 의견수렴 및 전문가 검토 수행
 - 실수요처 대상은 저고도 항공기 운영자, 경량항공기/초경량비행장치 운영자 등을 모두 포함함
 - 최종성과물에 대한 실수요처 의견 수렴을 위한 설문 조사 등을 실시하며, 시제품 개발 후 실용화 서비스를 대비
- AWS, AMOS, 영상 관측자료를 활용한 감시, 알람 기법 개발
 - 기상청 AWS(Automatic Weather Station)를 수집하여 관측 지점별, 요소별로 DB화 하고, 기상 요소별 운항 안전에 영향을 주는 주요 임계값을 설정하여, 임계값 초과값에 대한 알람 알고리즘을 개발함
 - 공항별 AMOS(Automatic Meteorological Observation System)를 수집하여 관측 요소별로 DB화 하고, 주요 요소별 임계값별 알람 알고리즘을 개발함
 - 공공데이터 포털의 도로기상 CCTV 등의 영상 정보에 접근 하도록 하여 지역별, 주요 공항별, 항로별로 DB화 하여, AWS, AMOS등 관측 데이터와 연계하여 사용자 능동적 실시간 기상정보 제공에 활용함
 - PAV 등의 비행 지점별 또는 기상 요소별로 기상정보를 제공하고, 특정 임계값 또는 위험 기상 요소 발생 시 실시간으로 알람을 발송하는 서비스 시스템을 개발함
- NWP 자료(수치예보모델자료)를 활용한 감시, 알람 기법 개발
 - 지역모델 및 국지모델 자료를 수집하여 주요 지점별, 기상 변수별, 시간별 예측값을 추출하여 DB화 하고, 특정 임계값을 초과하는 경우 알람 발송 알고리즘을 개발함
 - 주요 기상요소별로 문자, 표, 그래프 등의 데이터 표출 기법을 개발하여, 영상 자료 등 현재의 관측 자료부터 시간별 미래 예측자료를 사용자가 선택적으로 활용할 수 있는 통합 플랫폼 개발
- 실시간 정보 제공 및 분석 이외의 특화된 예보 기능 개발
 - 본 연구에서는 관측, 예보 정보를 바탕으로 알람 기술을 개발함과 동시에 특화된 예측(예보) 기능과 지속적은 예측력 개선을 위한 기술 개발을 수행
 - 수치예모 모델의 바람, 난류관련 요소를 추출하여 윈드시어 진단 지수(수치) 개발
 - 기상 관측 자료 및 수치 예보 모델 자료를 이용한 난류 진단지수(수치)를 개발
 - 국내 서해안 지형 및 해수 온도의 역학 관계를 고려한 해무 진단 지수(수치)를 개발
 - 지상부터 비행고도까지 대기 상태를 3차원으로 재현·분석하며, 이를 통한 운영 예정 경로의 예보 정확도 개선

○ 시제품 개발 시험을 통한 운용적합성 확인

- 개발 시제품 및 시스템의 데이터 처리 프로세스를 점검하기 위하여 시험 비행을 수행하여 기상관측, 영상, 수치모델 자료 등의 제공 형태를 확인하고,
- 사용자 능동적 기상정보 요청, 수신 등 처리 시스템을 확인하여 최종 비행운용 적 합성을 확인함

○ 개발될 연구 결과의 목표 달성을 현실성을 위한 목표 명확화

- 본 연구는 TRL4 수준의 개발이 완료되는 단계로서 실질적으로 개발 시스템의 실 용화 또는 상품화를 위한 초기 단계에 해당하며, 이를 전체 연구의 1단계로 정의 함
- 연구의 1단계에서는 초기 시스템 구현 및 확인을 목적으로 하며, 가능한 경우 이 를 실제 운영 환경에 적용할 수 있는지까지 확인하는 것을 목표함
- 추후, 실제 시스템의 활용과 적용을 위한 2단계 연구를 본 연구(1단계)가 종료된 이후 추진할 필요성이 있음

○ 진행 중 타 항공R&D와의 연계 방안 고려

- 기 수행중인 항공분야 연구개발과의 협력 가능성을 확인하고, 연계성을 검토함
- 가능한 경우, 본 연구개발의 중간결과물 또는 최종결과물을 제공하는 등의 적극적 협력 추진함

2. 연구 수행 내용 및 성과

가. 연구개발 목표 및 결과

핵심성과	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
PAV 등의 기상정보 서비스 모델 설계 및 시제품	연구과제 통합관리	과제 통합 관리	- TEMP 등 기술문서 도출
	미래항공서비스 운영 개념 분석	PAV 기술 분석 외	- 보고서 도출
		기상서비스 방안 연구	- KCI 논문 3편 게재 - SCI(E) 논문 1편 게재 - 학술발표 2건
	항공기상정보 서비스 분석	PAV 맞춤형 서비스 형태 분석	- 보고서 도출 - 학술발표 3건
		항공기상정보 활용을 위한 기초 기술 개발	- 특허 출원 1건 - 특허 등록 1건
		특화 예보 기술 개발	- 보고서 도출
	기상정보 서비스 모델 설계	요구도 반영 설계	- 설계 문서 도출
	서비스 모델 및 시제품 개발	3차원 데이터 제공을 위한 시제품 개발	- 시제품 산출 - SW 등록

나. 주요 연구 내용

(1) 미래항공서비스 운영 개념 분석

(가) PAV 개요

- 개인용 항공기(Personal Air Vehicle, PAV)는 개인이 사용 가능한 자가용 항공기를 칭하며, 주로 1~4인용의 작은 비행기로서, 흔히 출발지부터 목적지까지 소유자가 직접 조종하여 운항하는 항공기를 말함
- 경제 성장으로 인한 자동차 보유 대수의 증가와 교통 수요의 급신장은 현격히 빠른 속도로 이루어지고 있어 교통 여건의 악화를 일으키고 있음
- 점차 과밀화 되가는 교통수단의 대안으로 새로운 교통수단의 출현이 요구되어짐

- 최소한의 교육으로 누구나 안전하게 운용이 가능하고, 공중과 지상의 모든 교통망을 활용할 수 있는 PAV의 개념 형태는 차세대 교통수단으로 각광받고 있음
- 항공기를 이용한 여행에서 목적지에 도달하기 위한 비행시간은 이동시간 대비 상당히 적은 부분을 차지함
- PAV는 기존의 항공기를 이용한 여행에서 비생산적으로 낭비된 시간을 절약하고 지상 교통수단을 이용하며 포화된 도로로 인해 발생하는 배기가스의 증가와 교통체증으로 인한 시간 낭비를 최소화 하자는 개념에서 시작됨.
- PAV 산업은 진입장벽이 높은 기존 항공 산업과 달리 항공 선진국의 본격적인 경쟁이 시작되지 않아 시장 선점이 가능한 자동차를 대체할 새로운 산업임
- 또한 소프트웨어, 전자, 통신, 자동차 등을 포함한 다분야 융합 산업으로 산업 전반의 동반 성장을 유도하는 기술적 파급 효과를 지닌 고부가 가치산업임
- PAV 산업의 개발은 민수 및 군수 부문에서 항공기 산업 발전의 기반구축에 상당히 기여할 것으로 예상됨.
- 한국항공우주연구원(KARI)은 PAV 개발 선행연구를 통해 PAV개발 핵심기술 확보를 통해 세계 기술 시장 선점이라는 목표로 총 4단계의 로드맵을 제시하였고 2030년까지 PAV 실용 시제기 개발을 목표로 함
- 미래의 PAV 운용을 위하여 공역 설계에 대한 개념과 도시 사이를 연결하는 미래 항공기 운송 시스템을 창안하는 프로젝트가 수행되었음
- 공역 내의 모든 항공기를 실시간으로 네트워크에 연결하고 정보를 공유함으로 미래 항공 교통의 처리를 원활히 처리하기 위한 프로젝트가 수행되었음.
- PAV 등의 미래항공서비스는 저고도로 운용 될 것으로 예측되며 운용 시 항행에 영향을 미치는 기상현상의 관측이 필수로 이루어져야 함
- 저고도 항공운항 지원용 기상 관측은 공역과 항공로의 비행고도가 매우 낮은 고도가 아닌 이상 현장측정이 아닌 원격 탐측으로 관측되어야 함
- 공역과 항공로에서 종류별로 필요로 하는 기상요소를 관측하는 시스템의 구축이 필요
- 본 장에서는 PAV의 운영 및 시스템과 비행체 개발에 대하여 동향 파악, PAV 관련 핵심 기술을 분석, 미래의 PAV 운영 형태에 대하여 기술함

(나) PAV의 개념 및 분류

① PAV의 개념

- PAV는 경량급 일반 항공기 (Light General Aviation Aircraft)로 도로 주행 가능한 비행기(Roadable Aircraft), 하늘을 나는 자동차(Flying Car)라고도 함



PAV의 다양한 형상 개념

- PAV는 자신의 집에서 출발하여 어느 목적지든 갈 수 있는 Point-to-Point와 Door-to-Door 개념의 비행체임
- 자택에서 출발하여 도심을 지나서 한적한 공간 혹은 활주로로 이용할 공간이 확보된 지점에서 이륙하여 목적지 근처의 작은 공항 혹은 공간이 착륙해서 목적지까지 다시 자동차로 변환하여 이동하는 개념 혹은 수직이착륙이 가능한 공간에서 이륙하여 목적지까지 이동하는 개념을 Door-to-Door(D-T-D)라고 정의함
- PAV가 도로에서는 주행이 불가능하여 공항까지는 자동차 혹은 버스나 고속전철과 같은 지상 운송체를 이용하여 도심 주변의 간이 공항에 도착하고, 이곳에서 PAV에 탑승하여 자신이 직접 PAV를 비행하는 개념을 Point-to-Point(P-T-P)라 정의함
- NASA는 Centennial Challenge PAV 대회에서 아래 표와 같이 PAV에 대한 개념을 정의하였음

NASA의 PAV 정의

구분	PAV 요구조건
좌석수	5인승 이하
순항속도	240~320km/h
쾌적성	조용(Quite)하고 안락(Comfortable)함
신뢰성	고장률이 적어야 함
조종성	자동차 운전면허증으로 누구나 조종이 간편해야 함
운행모드	자동차 모드 또는/그리고 비행모드로 운행할 수 있어야 함
전천후 비행	합성영상시스템(Synthetic Vision System) 운행 및 전천후 비행능력 보유
사용연료	고연비(대체 연료 사용 가능)
항속거리	1,300km
공항이용	대형 공항 보다는 사업 또는 거주하는 작은 지역공항을 이용하는 door-to-door 교통 해법

② PAV의 분류

- PAV는 운용방식과 이착륙 방식에 따라 구분됨
- PAV의 운용방식에 따라 단일모드(Single Mode) 및 이중모드(Dual Mode)로 구분되고, 이착륙방식에 따라 CTOL(Conventional Take-off and Landing), STOL(Short Take-off and Landing), SSTOL(Super Short Take-off and Landing), ESTOL(Extremely Short Take-off and Landing), VTOL (Vertical Take-off and Landing)로 구분 됨

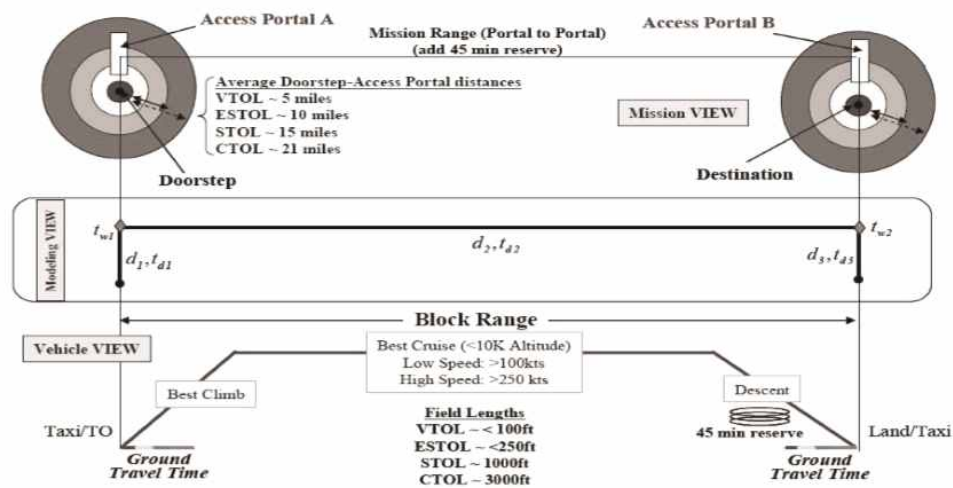
운용방식에 따른 PAV의 분류

Mode	내용
단일모드 (Single Mode)	기존 항공기 개념의 PAV로서 비행모드로 운행
이중모드 (Dual Mode)	자동차와 항공기를 결합한 형태로 지상에서는 자동차 모드로 공중에서는 항공기 모드로 운행

이착륙 방식에 따른 PAV의 분류

이착륙 방식	내용
CTOL (Conventional Take-off and Landing)	활주로를 이용한 이착륙 항공기 기존 항공기처럼 고정익을 이용
STOL (Short Take-off and Landing)	활주로를 이용하지만 CTOL 항공기보다는 짧은 이착륙 방식
SSTOL/ESTOL/VTOL (Super Short/Extreme Short/Vertical Take-off and Landing)	수직 이착륙방식으로 활주로가 필요 없음

- 미국 조지아 공대(GaTech)의 Ahn 등의 연구에서에서 PAV의 임무형상은 그림 2와 같이 제시되었으며, 출발점(Port A)에서 도착점(Portal B)까지의 임무관점(Mission View)과 비행 관점(Vehicle View)과 모델링 관점(Modeling View)으로 구분함
- 현관(Doorstep)에서 출발하여 소형공항(Portal A)에 접근하는 거리를 VTOL 5마일, ESTOL 10마일, CTOL 21마일 이내로 보고 있음
- 비행고도는 10,000ft 이하에서 속도는 100~250kts으로 비행하는 것을 제시함
- 여기서 임무프로파일은 지상이동-이륙-최적상승-순항비행-하강-지상 이동 패턴을 보여 주고 있음



PAV 임무형상 [출처 : Georgia Institute of technology]

- Li 등의 연구(조지아공대)에서 PAV의 요구사항 및 목표치를 표와 같이 제시하였음

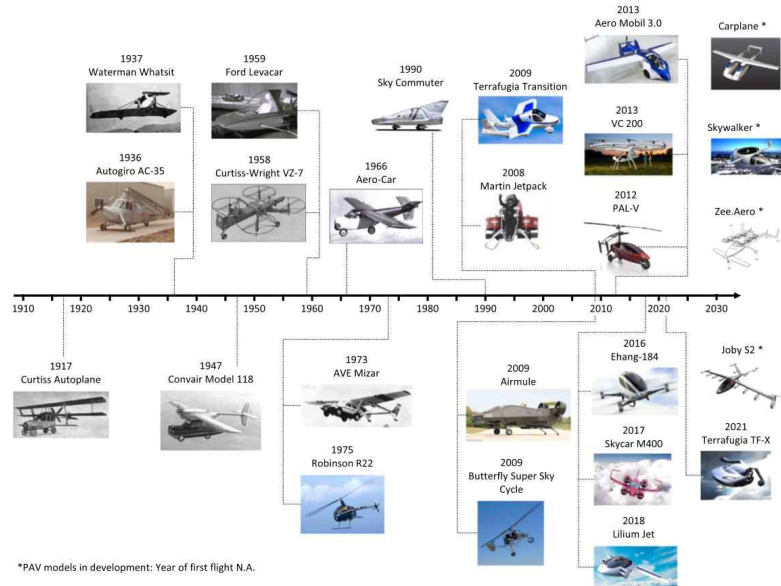
PAV 요구사항 및 목표치 제시

Requirements	Criterion	Target/Constraint
Speed	Cruise Speed	100~250kts
Noise	Flyover Noise(dB)	<79
Travel Time	Total Travel Time(hr)	<3.5
Takeoff Length	Total Distance Clear 50' Obstacle(ft)	VTOL<100ft, ESTOL<250ft STOL<1,000ft, CTOL<3,000ft
Safety	Accident Rate : Number of fatal accidents per 1,000,000FH	<5
Reliability	MTBF : Mean Time Between Failure(hr)	<80
Maintainability	MTTR : Mean Time to Repair(hr)	>50
Ease to Operation	TTR : Training Time Requirements(hr)	<20
Mobility	TTBT : Total Time Before Takeoff(hr)	<0.3

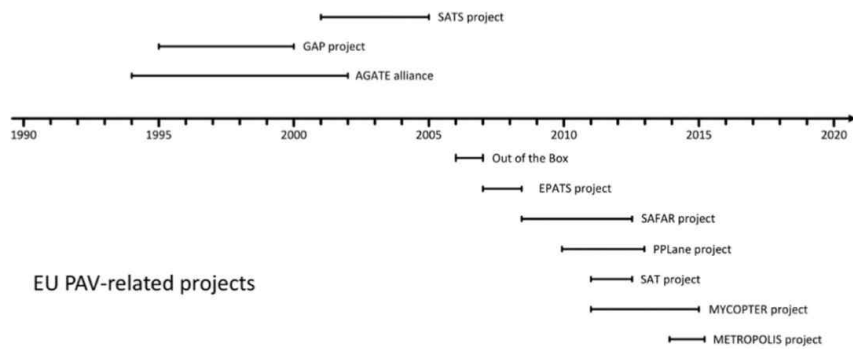
(다) PAV 개발 동향

① 국외 운영 시스템 개발

- 아래 그림은 과거 또는 현재 개발 중인 PAV 모델을 보여주는 것이며, 하단의 그림은 NASA와 EU의 PAV 관련 프로젝트를 시간 순으로 보여줌



PAV 형태 비행체의 발전

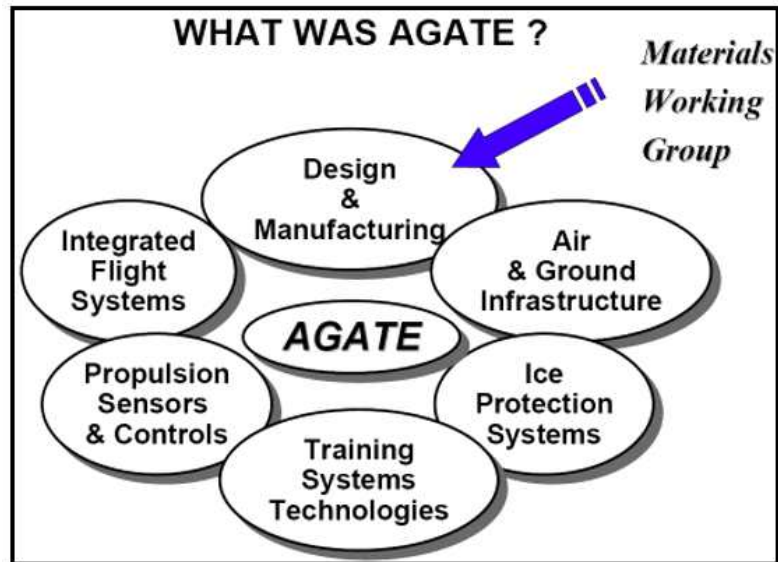


EU PAV-related projects

NASA 및 EU의 PAV 관련 프로젝트

㉑ AGATE

- 학계와 민간 산업체 70여개 기관으로 컨소시엄을 구성하여 NASA에서는 1997년부터 2002년까지 AGATE 프로그램을 추진한 바 있음
- 본 프로그램은 개인용 소형 항공기 시장 활성화를 목표로 저렴한 가격의 안전하고 조종이 쉽고 편리하며, 좋은 탑승감의 소형항공기 개발에 필요한 핵심기술을 개발하는 것임



NASA AGATE의 주요 연구 내용 요약 [출처 : NASA]

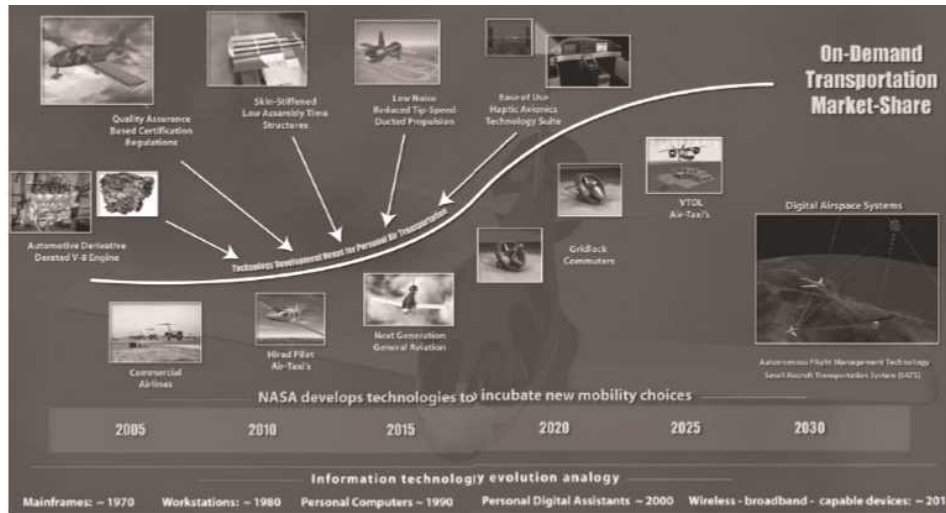
㉠ PAVE

- 2001년부터 2004까지 2030까지 5년 단위의 PAV 계획 수립을 목적으로 NASA Langley 연구소 주도로 PAVE 프로젝트를 수행함
- GIT(Georgia Tech), VPI(Virginia Polytechnic Institute), Boeing(Long Beach), Cal Poly San Luis Obispo 등이 공동연구로 참여하였음
- PAV에 대한 개념 정립과 미래형 비행체 개념연구를 수행하였으며, 요구조건 (Requirements)과 형상 개념(Concepts)과 요구 기술(Technologies) 등을 분류하고 그림과 같이 다양한 PAV 형상의 플랫폼을 제시함

형상	운용 모드 (이착륙방식)	형상	운용 모드 (이착륙방식)
	Dual Mode (CTOL_LaRC)		Single Mode (VTOL_Cal Poly)
	Dual Mode (CTOL_LaRC)		Single Mode (CTOL_Cal Poly)
	Dual Mode (CTOL_VPI)		Dual Mode (CTOL_Boeing)
	Single Mode (VTOL_LaRC)		Dual Mode (VTOL-Boeing)
	Dual Mode (SSTOL_LaRC)		Single Mode (ESTOL_Ga Tech)
	Single/Dual Mode (ESTOL_Cal Poly)		Single Mode (VTOL-Ga Tech)

PAVE의 PAV 형상에 대한 개념연구 결과 [출처 : NASA]

- PAVE의 목표는 지상주행이 가능하고, 사용이 편리한 소형항공기(Ease-to-Use Aircraft)의 개발임
- 그림은 PAV의 기술발전 단계를 보여 주고 있음

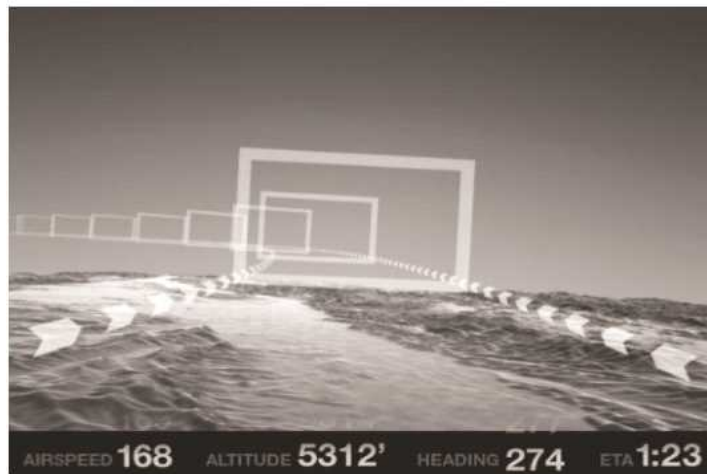


NASA PAVE 기술발전 단계

㉔ SATS

- 본 프로젝트는 AGATE 프로젝트 이후에 새로운 소형항공기 운송시스템(SATS, Small Aircraft Transportation System)을 창안하는 것임
- SATS는 도시사이를 연결하는 미래 소형항공기 교통시스템을 말함
- 미연방 항공청 등 130여개의 기관 컨소시엄으로 구성되어 NASA의 주관으로 SATS 프로그램을 수행하였으며 2020년에 완전 운용이 가능할 것으로 보고 있음
- 5,000개 이상의 소규모 공항을 활용하여 자유로운 비행이 가능하도록 두 지점 사이의 운송 인프라의 구축을 위한 국가공역(Air Space)의 개발임
- PAVE가 개인용 비행체의 연구라면, SATS 프로젝트는 하늘의 고속도로 구축하는 연구라 할 수 있음
- SATS는 관제타워가 없는 공항과 레이더가 없는 공역에서 자율조종으로 조종사가 대량 착륙이 가능한 대형체적운용(HVO, Higher Volume Operation) 시스템의 구축과 최소한의 착륙설비만 갖추어진 공항에서 최저고도착륙(Lower Landing Minimums)이 가능하게 하는 것임
- 하늘 고속도로를 비행하고, 통합된 군집비행을 위한 비행경로 절차와 시스템도 갖추게 됨

- 현재의 허브공항 및 지역공항을 연결하는 허브와 스포크 장거리 운행용 소형항공기 (Hub-Spoke Long-haul GA)의 운용개념에서 유비쿼터스 공역접근을 통해 공역용량을 높여 안전을 보장하는 미래의 교통시스템을 갖추는 것임
- SATS의 내용을 간단하게 정의하면 다음과 같음
 - 하늘 고속도로(HITS : Highway in the Sky-HUD Flight Path) 구축 - 그림 8 참조
 - 통합 영상 시현장치(Synthetic Vision System) 기술개발
 - 활주로에 정밀 접근 능력(Precision Approach Capability to Runway) 방법
 - 타워, 레이더 또는 접근등 관제 불필요(No Control Towers, Radar, or Approach Light) - 인터넷에 의한 항공정보시스템 제공(Internet of Air Information Systems)
 - 근거리 전천후 운용(Near-All-Weather Operability)
 - 자체거리분리 및 순서비행(Self-Separating & Sequencing)



하늘고속도로 영상 시스템

㉔ NextGen (Next Generation Air Transportation System)

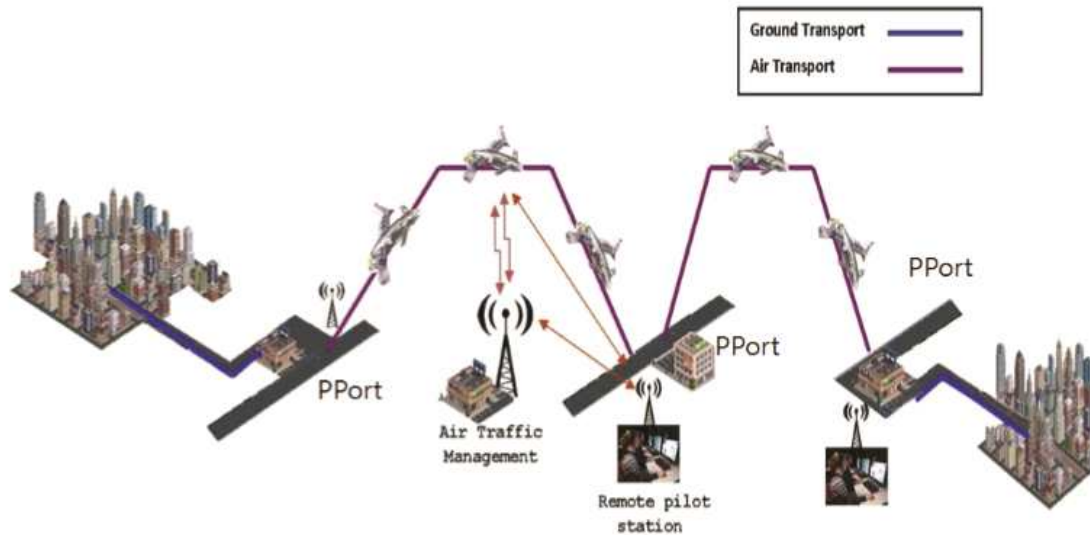
- 미국에서는 항공 교통량이 2025년까지 2~3배 증가할 것으로 예상하였고 기존 항행 시스템으로 수용이 불가능하다고 판단하여 JPDO(Joint Planning and Development Office)의 산하 차세대교통시스템연구소(NextGen Institute)를 2005년 3월 설립하여 NextGen 프로그램을 추진하였음
- 본 프로그램의 목적은 2025년까지 미국 공역 내의 모든 항공기를 실시간으로 네트워크에 연결하고, 교통 혼잡, 기상, 비행경로, 항공기 위치 등의 정보를 공유함으로써 항행 안전성과 효율성 향상과 늘어나는 미래의 항공 교통을 원활히 처리하는데 있음

- 현재 항공교통 시스템은 지상관제위주의 시스템으로서 인간중심적이었고 비자동화 단일채널 관제로 43년 이상의 낡은 인프라로 구성됨
- 미래의 항공교통시스템은 통신집합체(무인기, 통신위성, 고도도 비행선 등)를 활용하여 수집한 정보를 지상기지과 다른 항공기 등에 알리고 집합체 항법을 유도하는 개념임
- 고밀도 공역의 해결을 위해 동적공역을 운용하고 기상, 안전, 환경에 따라 공역의 재배치를 하는 시스템도 연구 중임
- NextGen 프로젝트의 연구내용을 간단히 기술하면 다음과 같음
 - 교통체증과 시간지연을 감소
 - 기상관련지연을 감소시키기 위하여 의사결정도구로 기상정보의 신뢰성 증진
 - 환경에 대한 부작용 최소화
 - 연료소모율 감소
 - 정밀궤도 기준 운용
 - 항공교통관제 및 시스템 사용자의 실시간 정보접근 가능한 네트워크 구성
 - 공항에서 더 많고 다양한 비행기의 이착륙 실현
 - 공항에서 공항까지 보다 많은 승객의 행복한 이동

㉠ PPlane

- PPlane(Personal Plane)은 2030년까지 최적화된 PAV 운용시스템을 찾아내는 프로젝트임
- 이 프로젝트에서 PAV 개념은 지상주행(Roadable) 기능이 배제되었으며 이 프로젝트의 목적은 조종사가 필요 없이 자동비행 시스템을 통해 운용되는 자가용 항공기의 개발임
- 프랑스 (ONERA)를 비롯해 독일(DLR), 스페인(INTA), 네덜란드(NLR), 이스라엘 (IAI) 등 11개 국가의 연구소, 대학 등의 13개 기관이 컨소시엄으로 참여하고 있음
- PPlane의 형상개념은 그림 9와 같으며, PPlane의 운용 개념은 대중교통과 자가용으로 출발지인 PPort(Personal Port)까지 이동 후 PAV로 이륙, 목적지인 PPort에 착륙하는 개념임
- PPlane 프로젝트를 정리하면 다음과 같음
 - 2030년 또는 이후까지 실현 가능한 항공교통시스템을 정의하기 위한 목적으로 유럽 연합이 기금을 조성하여 수행하는 프로젝트
 - 주요 5대 연구는 운용개념, 자동화, 안전 및 사회보장, 인적요소 및 환경분야 임
 - 4-6인승을 고려하고 전기동력장치를 장착

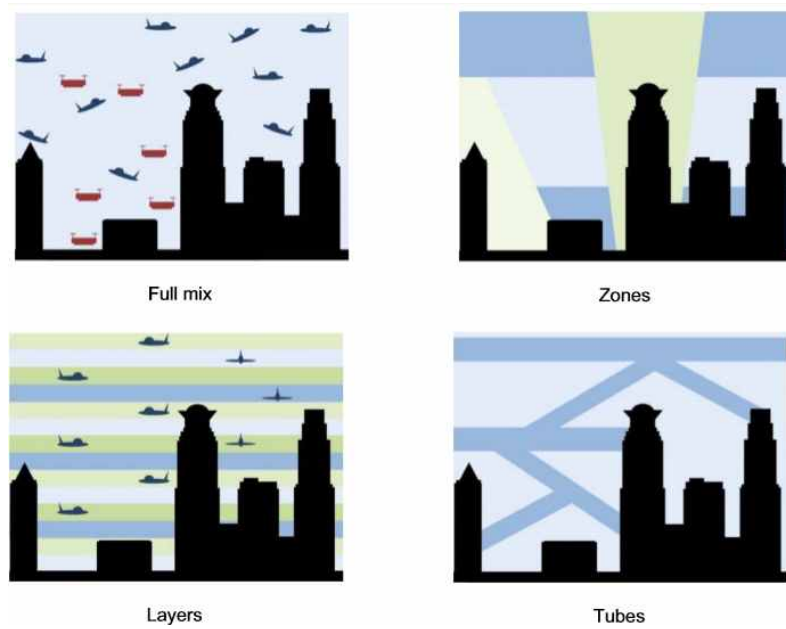
- 4시간 이내에 전 유럽의 여행이 가능한 미래의 유럽교통시스템 제공
- Non-roadable System을 선정, 자가용 또는 대중교통이 PPort까지 운송



PPlane의 운용 개념도

㉠ METROPOLIS

- METROPOLIS 프로젝트의 목적은 교통 밀도, 복잡성, 제약 측면에서 오늘날과 비교하여 극단적인 형태로 다수의 개인용 항공기 및 무인기 운용이 이루어지기 위한 도시 환경 구역 설계에 대한 대안을 조사하는 것임.
- 본 프로젝트의 목표는 미래 도시의 영공 설계에 대한 탐색적 연구와 극단적인 비행 시나리오를 통한 항공교통의 이해를 높이는 것임
- 개인용 항공기의 개발과는 별도로 기술이 발달함에 따라 예상되는 대규모의 교통 수요를 뒷받침하기 위하여 비행공역에 대한 개념 연구가 병행되어야 함.
- 영공 내 교통 수용량에 대한 구조적인 문제는 그림 10과 같이 4개의 개념으로 나뉨
- Full Mix, Layers, Zones, Tubes 으로 나뉘는 네 항목은, 영공 내 구조 단계를 심화시키는 것과 동시에 전체 교통을 암묵적으로 분리 및 구성하는 데 사용됨.



Metropolis 공역 개념도

② 국외 비행체 개발

- 세계 각국에서는 미래 교통수단인 PAV 비행체 설계가 활발히 이루어지고 있음
- 표는 세계 각국의 주요 PAV 개발현황을 보여주고 있음
 - 비행체의 상세 내용은 별도의 보고서 참조

세계 각국의 주요 PAV 개발현황

국가	연구주체	PAV 명칭
미국	Sikorsky	X2
	Groen Brothers Aviation Inc	Hawk-4
	Terrafugia	Transition
	ICON	A5
이스라엘	Urvan Aeronautics Ltd	X-Hawk
	Rafi Yoeli	Hummingbird
캐나다	Avro Gregory	AVROCAR
	George Gregory	Solstice
	Milner Motors	AirCar
이탈리아	Cell Craft	G440

일본	Kanasawa Institute of Technology	Inflatable Wing Roadable Aircraft
한국	KARI	Ducted Prop Aerial Vehicle
네덜란드	PAL-C Europe BV	PAL-V One
프랑스	Laurent Fabre	Flying Car
독일	Stefan Hanger	FlyRider
	Messerschmitt Club	Flying Car
러시아	Yuri Krassin	AUTOCRAFT 011
	Scarab Aviation Labs	Begalet
영국	Gray Payne	Aircar
	Kestrel	VTOL
	Parajet Automotive	SkyCar

③ 국내 개발 동향

㉔ 미래형 항공기(PAV Personal Air Vehicle) 개발 선행연구

- 우리나라가 PAV의 핵심기술을 확보하여 세계 기술 시장 선점과 PAV 기술 선도 국가 실현을 위해서는 먼저 PAV 핵심기술 선정을 위한 미래항공교통 분석이 필요함
- 현재 상황으로 미루어 볼 때 앞으로 지금의 자동차를 이용한 교통이 20~30년간 더 계속된다면 도로의 교통체증은 더욱 심각한 상태에 이를 것이고 PAV는 이러한 교통상황을 극복시킬 수 있는 교통수단임
- PAV의 개발에 필요한 모든 기술의 확보보다 전략적으로 경쟁력이 있는 기술들을 선택하고 집중적으로 개발하는 선택과 집중전략이 필요함
- 즉 소음저감 기술, 충돌방지/회피기술, 구조경량화기술, 추락방지기술, 소형/경량 추진동력기술 등을 예로 들 수 있음

단계별 기술개발 전략

중점 분야	1단계 (2011-2015)	2단계 (2021-2025)	3단계 (2021-2025)	4단계 (2026-2030)
핵심 기술	핵심/원천기술 연구 개발	핵심/원천기술 응용 및 실증/평가	형상별 연구용 체계기술 개발	실용화/상용화 기술 개발
기술검증	기술단위 Test-Bed	인증시험개발	비행시제기 개발	실용화 시제기 개발
비고	기술단위시험	기술시험기	비행성능용	공역운용시제기

- 표는 PAV 기술 개발 추진 전략을 보여 주고 있음
- 국가 차원에서 개인용 항공기(PAV)에 대한 핵심기술 개발을 통해 글로벌 경쟁력을 강화해야 함
- 한국항공연구원의 PAV 선행 연구에서는 PAV 기술선도 국가 실현, PAV 세계시장 선점, 세계 최고수준의 항공교통 서비스 실현, 신성장동력 산업화로 항공선진국 진입을 비전으로 하였음
- 이를 위한 전략으로 핵심 및 원천 기술의 체계적 개발, PAV형상의 구체화 실현, PAV 비행체의 실용화 개발을 중점추진분야로 제시함.

단계별 기술개발 전략

1단계 (2011-2015)	2단계 (2021-2025)	3/4단계 (2021-2030)
핵심기술구축	핵심기술실증	핵심기술실용화
PAV 핵심기술 및 원천기술 체계적 개발 항공교통 제도 개선 인력양성 유/무인테스트베드 이용 기술 검증시험	PAV 기술시현기 개발 3차원교통망 및 서비스망 기술개발 핵심기술 선도개발 및 시험평가 기술 확보 PAV 성능 및 운용시험	항공교통망, 서비스망 구축 법규/제도 등 구축 기술정체분야 해소 PAV 실용화(기술 및 세계 시장 선점)

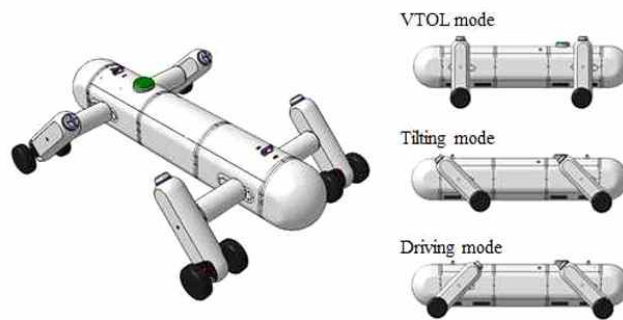
- 표는 단계별 개발 목표를 제시하고 있음
- 1단계에서는 핵심 및 원천기술 개발과 검증시험을 수행하며 2단계에서는 기술 시현기를 개발하고 이를 이용한 기술검증, 3단계에서는 검증된 기술의 실용화와 운용 체계 구축을 목표로 제시하고 있음
- 이러한 비전과 목표 달성을 위해 기반 연구 수행과 연구 개발 역량 분석, 투자 자원의 효율적 활용 등을 고려하여 중점 추진 분야를 발굴, 추진하는 노력이 필요함
- 또한, 단기적인 목표가 아닌 장기적 국가 Agenda로 설정하여 중장기적인 단계별 목표를 실천해 나아가야 함

㉠ 쿼드 틸트 프로프형 PAV 무인 축소모델 개발

- 변영섭 등의 연구에서는 멀티 로터 형상에 기반을 둔 쿼드 틸트 프로프형 플랫폼을 제안하였고 개념설계 및 무인 축소모델 시작품을 제작하여 개발시험을 수행함
- PAV의 전형적인 임무형상에 대하여 기술시연을 위해 무인 축소모델 플랫폼의 물리적 제한사항을 둠

○ 무인 축소모델 플랫폼에 대한 물리적 제한 사항은 아래와 같음

- 최대이륙중량 20kg 이내
- 최대탑재중량 2kg 이내
- 주행모드 기준 전폭 0.6m~1.5m 이내
- 비행모드 형상은 전폭 제한 없음



쿼드 틸트 프로펠러형 PAV 형상

- 연구에서 제안된 이중모드 PAV는 지상주행과 수직이착륙 비행 구현을 위해 주행을 위한 구동장치와 프로펠러 추진을 위한 모터를 하나의 나셀에 집적하고 전후 나셀의 틸트 기능에 의해 주행 및 비행모드의 변경이 가능하도록 설계함
- 이는 상용 자동차와 기하학적 유사성(geometrical similarity)을 최대한 유지하기 위한 것이며 기존 도로 교통 체계에서 운용성을 향상시키는데 목적이 있음
- VTOL 모드에서의 비행시험평가를 위한 시제기를 그림 20와 같이 제작함
- 운용시험 결과 수직이착륙 모드에서 안정적인 비행이 가능함을 확인함
- 틸팅 모드에서 비행 중 피칭 모멘트가 발생하는 문제를 확인하여 제어기를 수정해 문제를 해결함
- 주행 모드는 안정적인 주행성과 조종성을 확인함
- 또한 외부의 도움 없이 완전자동으로 작동하는 모드 변환을 구현하였음
- 이는 Door-to-Door 방식의 PAV 개념에 적합하다고 사료되며 추후 연구를 통해 개발된 축소모델의 설계 및 효율을 개선할 예정임
- 이 연구에서 개발한 축소모델은 지상임무와 비행임무 모두 수행이 가능한 다목적 무인항공기로 운용이 가능하다고 판단되며 이를 위해 축소모델을 활용한 다목적의 무인항공기 개념연구를 계획 중에 있음



PAV 모델 최종 형상

㉔ 톨딩 방식 Flying Car 축소모델 개발

- 윤성훈 등의 연구에서는 고정익과 회전익 항공기의 장점이 결합된 Tilt-prop 방식의 Dual Mode가 가능한 PAV의 1/3 축소기 개발을 목표로 함
- 기본설계개념은 고속비행이 가능하고 높은 효율을 가진 고정익과 수직이착륙과 호버링이 가능한 회전익의 장점을 합친 복합형 Dual Mode PAV임



한국형 PAV 설계 구상

- Tilt-prop 방식의 기체로 접이식날개와 같이 복잡한 메커니즘을 줄이기 위하여 기체 전체가 익형인 형상을 선정함
- 주행모드 시 일반차량에 가까운 형상을 가지고 도로 폭 제한 등 차량성능을 만족시키기 위하여 낮은 가로세로비 형상 및 메인 프로펠러를 수납하는 폴딩 메커니즘을 반영



폴딩 시스템

- 복합형 기체로서 천이모드와 역 천이모드가 존재하므로 수직 이륙 후 메인프로펠러를 90° 천이하여 고정익 방식으로 비행 가능하도록 메인프로펠러의 각도에 변화를 주는 틸팅 메커니즘의 구현이 필요함
- 그림과 같이 틸팅 메커니즘을 구현함



틸팅 시스템

- XFLR5 프로그램을 이용한 공력계수 및 종방향 안정성을 해석을 바탕으로 최종 형상을 설계하였음
- 다수의 비행시험을 통하여 비행 안정성과 조종성을 검증하였으며 천이 및 역천이 과정을 성공적으로 수행하였음

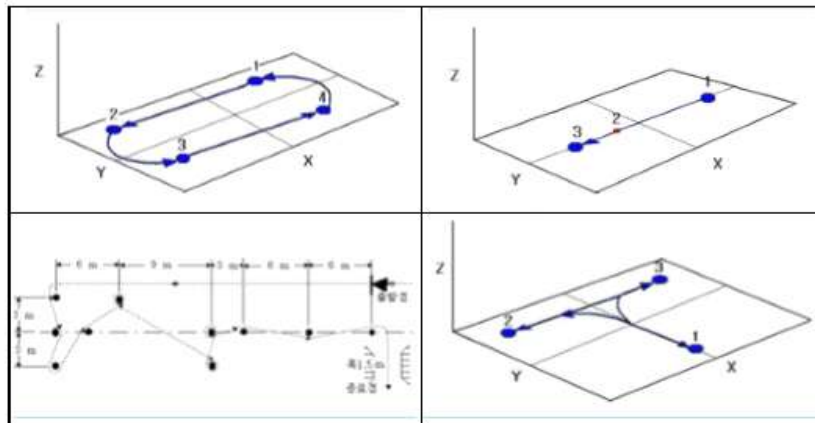
㉔ PAV 축소 모델 개념설계 및 비행시험

- 정준호 등의 연구에서 기본적으로 주행성능과 비행성능이 수행될 수 있는 Dual-Mode CTOL형 PAV의 1/4 축소기 개발을 목표로 PAV의 1/4 축소모델인 CNUPAV-01의 설계와 비행시험을 수행하였음

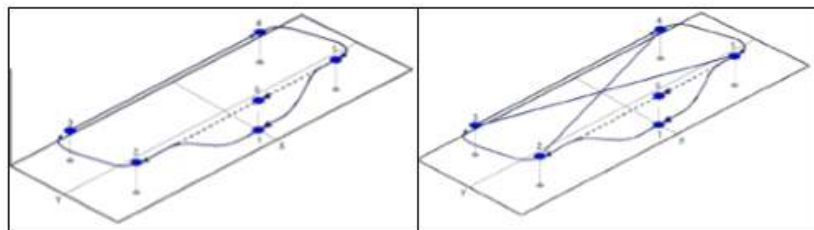


CNUPAV-01 형상

- Dual-Mode PAV의 임무는 주행/비행모드에서의 임무로 나눌 수 있음
- 그림에서 보이는 바와 같이 주행, 조향, 제동, 주차 및 후진 등 자동차의 역할을 수행하는 데 기본이 되는 성능을 검증 할 수 있게 하였으며 비행모드에서는 이·착륙을 포함한 순항과 8자 코스 선회비행을 목표로 설정함

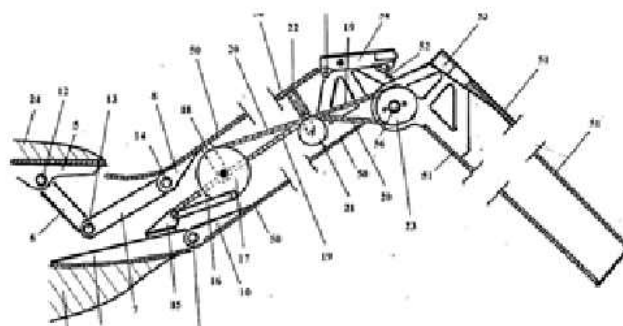


주행모드의 임무 형상



비행모드의 임무 형상

- CNUPAV-01 의 경우 수납 메커니즘을 통해 2단 접이식 날개를 가지며, 현재 상용화된 기체로 Transition의 그림과 같은 2단 접이식 방법을 적용함.



수납 메커니즘

- 이 연구에서는 일반 항공기의 설계경험식 및 공력 해석 프로그램을 토대로 축소형 CTOL형 Dual-Mode PAV를 설계 하였으며 비행 안정성 및 조종성을 비행시험을 토대로 확인함

(다) PAV 비행체 핵심 기술

- PAV 비행체 설계, 개발, 비행을 위한 비행체 핵심 기술은 공력, 구조, 추진, 제어 및 항공전자 등으로 구분할 수 있음
- 본 연구에서는 비행체 핵심 기술은 별도의 보고서를 참고

(라) PAV 운용 시스템 핵심 기술

① 운용개념

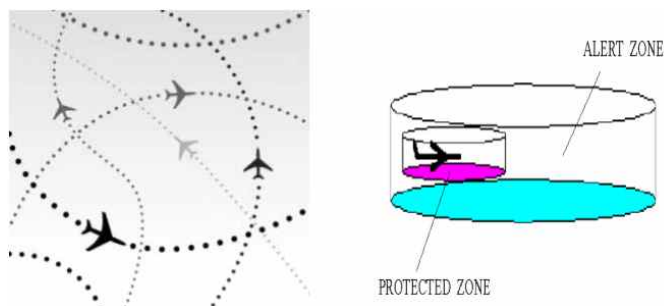
- 유럽의 하늘에서 유인, 무인 또는 정기, 부정기 항공기를 수용하기 위해서 상당히 유연성 있는 운용을 계획하고 있음
- 모든 종류의 항공기 요구에 맞는 비행이 이루어지도록 개발될 전망임
- 각 항공기는 ATS에 항적을 연결시키기 위해서 최종 목적지와 같은 자신의 의도를 알려야 함
- 전략적인 규정이 필요하지는 않지만 항공교통 자원의 가용성을 감소시키는 예상 되지 않은 상황이 발생하면 필요한 실시간으로 비행 제한이 결정될 수도 있음
- 실시간의 4차원 항적의 검토를 요구함
- PAV의 개발은 근래까지 구축된 항공 및 지상 인프라를 활용한 운용 개념을 바탕으로 함
- 운용 개념의 구현을 위하여 PAV의 운용을 위한 관제체계와 전문적 교육을 받지 않는 누구라도 쉽게 운용이 가능하도록 하는 운항 시스템 개발이 필요하며, 특히 PAV의 효율적인 운용을 위하여 CNS/ATM의 구축이 필요함

② 국가 공역관리시스템의 관리 (NAS management)

- 국가공역시스템은 일부 레저스포츠 비행에 배정된 공역을 제외하면 모두 관제대상의 공역임
- 관제공역에서 비행하는 항공기들은 트랜스폰더와 데이터 링크를 갖추 도록 요구되며, 또한 완전 자동화 비행을 지원할 수 있는 최소한의 항공 장비들을 구축해야함
- 공역 체계의 수용량을 증가시키는 장비들을 구축한 항공기에게 우선권이 주어짐

- 자동 비행을 위한 최소한의 장비를 구축하지 않고 조종되는 항공기는 오직 공역과 시간을 사용 가능할 경우에만 허용되는 낮은 우선순위가 배정됨
- 모든 무인항공기들 또한 최소한의 자동화 장비들을 구축하고 있어야함
- 모든 항공기는 탐색 및 구조에 도움을 주기 위하여 위성 위치확인 기능을 갖춘 장치인 비상위치 전송장치를 탑재해야함
- 항공교통관리(ATM)는 감독과 교통 흐름의 관리 시스템 수용능력에 있어서 높은 수준으로 자동화 되어 있음
- 주된 분리 보증은 자동화의 도움을 받는 운용자의 책임으로 되어 있음
- 충돌 탐지의 자동화와 해결책은 공중의 항공기에 의해서 지상 기반의 ATM 시스템과는 개별적으로 수행됨
- 항공교통관리 시스템은 항공기 운용자에게 흐름 관리 지침에 의거하여 안전한 경우, 선호하는 비행경로를 선택하고 자동으로 비행할 수 있도록 허용함
- 잠재적인 충돌문제 해결을 위한 항공교통관리자에 의한 중재는 비상시를 위하여 백업을 하는 것이며, 평상시에는 사용 빈도가 낮을 것임
- 자동화된 ATM 시스템은 데이터 링크를 통하여 항공기와 직접 연결됨
- 비행경로 수정과 충돌 탐지 및 해결을 위한 항공 교통관제 정보를 제공함
- 항공교통 관리인들은 이러한 기능을 감시하며, 데이터 링크로부터 정보를 얻지 못할 경우에 예상되는 4차원 항적을 조회해야 함
- 필요하다면 관리인들은 조종사와 음성으로 의사소통을 할 수도 있음
- 그리고 항공기에서 나온 데이터의 신뢰도가 믿기 어려울 수 있기 때문에, ATM 시스템은 넓은 분리를 제공해야 하고, 안전과 교통흐름의 효율을 위하여 자동화 장비를 구축한 항공기보다 낮은 우선권을 배정해야함

③ 자유비행(Free flight)



자유비행 개념

- 자유비행은 위성항행시스템이 완벽히 구축되는 최종 단계에서 활성화 가능한 항공기 운용 개념이며, PAV가 비행할 수 있는 환경은 이 개념의 일부가 가능해질 때부터 시작되어 자유비행이 안정화가 완료 될 때 육상교통을 대신할 교통수단으로 대체 될 것임
- 자유비행은 미국 국가공역시스템(NAS)의 효율성과 안전성을 개선하기 위하여 고안된 혁신적인 개념임
- 자유비행의 기본적인 개념은 기존의 지휘와 통제방식의 시스템에서 사용자가 스스로 자신이 비행할 항공로와 속도, 고도를 선택하고, 가장 경제적이고 효율적인 비행을 할 수 있도록 사용자에게 많은 자유와 융통성을 제공함
- 자유비행이라고 하여 모든 공역을 사용자 임의대로 비행할 수 있다는 것을 뜻하는 것은 아님
- 교통량이 많은 공항 및 혼잡한 공역 내에서의 분리, 또는 특별사용 공역 침범방지 등을 위반한 경우 사용자가 제한을 받게 됨
- 항공교통관제사의 역할이 통제 및 지시에서 감시 및 분리확보로 바뀌는 것임

④ 자유비행의 방법

- 자유비행은 해당하는 항공기 및 CNS/ATM 시스템에 의해 결정되는 3차원의 공역에서 실시함
- 자유비행의 제일 중요한 비행원칙은 비행 도중 안전한 분리를 유지하는 것임
- 분리를 유지하기 위하여 항공기의 특성, 성능, 속도 및 항공기의 CNS 성능에 따라 크기가 결정되는 두 개의 공간이 항공기 주위에 생성됨
- 기존의 TCAS와 비슷하며 항공기 주위에 생성되는 보호구역(Protected Zone)과 그 주위를 감싸고 있는 경계구역 (Alert Zone)으로 구분됨
- 두 항공기간에 겹치기 전까지는 자유로운 비행이 가능함
- 두 항공기의 Alert Zone이 겹치게 되면 항공교통관제사는 해당항공기들의 분리보장을 위하여 진로변경이나 제한사항을 부과할 수 있음
- 제한사항 및 관제지시는 통신장비의 통합망인 데이터 링크를 통하여 발부됨
- 조종사는 항공교통관제사의 동의하에 탑재된 컴퓨터와 GPS위성 정보를 통한 공중교통디스플레이 또는 ADS-B의 조종석 교통정보디스플레이를 사용하여 다른 항공기와의 직접 분리도 가능함

(마) PAV 운용 시스템 구성

① 기반시설에 요구되는 기술

- 미래의 기반시설들은 IFR 및 VFR 조건에서 지상 활주, 항로비행, 이륙, 착륙 그리고 지상 운용에 이르기까지 완벽히 자동화된 항공기의 비행을 지원할 수 있음
- 시설들은 어떠한 장소에서든지 IFR 운항을 지원해야 함
- 국가적이거나 국제적인 요구에 알맞게 다양한 등급으로 ATM을 지원해야 함
- 최상의 상태에서 수백만 대의 자율 비행중인 항공기를 처리할 수 있어야 하며, IFR 및 VFR 조건에서 완벽히 자동화된 공항과 헬리콥터 이착륙장을 운용할 수 있어야 함
- 시스템은 변화에 대한 적응력과 유연성이 있어야 하며, 인적 오류와 시스템 오류에 내성이 있어야 함
- 실질적으로 안전이 최우선인 기능을 잃지 않도록 높은 신뢰성과 가용성을 가져야 하며, 가능하면 비교적 저비용의 항공장비를 요구해야 함
- "안전에 치명적인 기능 (Safe-Critical Function)"이라고 하면 지면이나 다른 항공기에 대한 정밀도가 높은 항공기 속도, 위치 및 방위와 같이 항공기를 안전하게 관제하거나 항공교통 관리를 하는데 중요한 어떠한 기능, "안전에 최우선적으로 고려해야 할 기능"을 말하며, 이 기능의 손실은 바로 항공기와 인적 생명의 위협으로 이어질 수 있음
- 그러므로 안전이 우선시되는 항공시스템은 생명을 최우선으로 하는 시스템임

② 기반시설의 운용 요소

- 운용 능력은 모든 사용자들이 하루 24시간, 주 7일, 1년 365일 동안 이용이 가능해야 하며, 글로벌 상호 운용성을 지원해야 함
- 항공기는 요구된 서비스 수준에 한결같은 어느 나라에서도 운용될 수 있는 한 묶음의 항공전자 장비를 요구해야 함
- 요구된 묶음의 항공전자 장비 구매에 소요되는 비용은 가능한 한 항공기 소유권자들이 감당할 수 있는 정도여야 함
- PAV 항공전자와 관제 시스템은 현재 표준화가 진행되고 있는 위성항행시스템보다 더 발전된 형태가 되어야 함
- PAV가 자가용 자동차 수준으로 사용되면 주거지 근처에 이착륙장이 건설이 필요하며, 비행안전 뿐만 아니라 감시의 관점에서 다른 시설의 구축이 필요함

- 지역마다 관제소를 둘 수 없으므로, 무인 관제에 의한 비행유도 및 이착륙, 항공기 스스로에 의한 분리보증, 항공기 추적 감시 및 자동 네트워킹에 의한 운항정보의 제공이 필요함
- PAV 항공전자와 관제 시스템을 구성하는 대표적 기술로는 CNS/ATM 기반의 표준 항행시스템, 조종사 시계 향상 기술, ADS-B 및 CDTI 기반의 항공기 자율 비행 및 분리 보증 기술, 제2의 전파 네트워크를 이용한 항공기 자동 추적 및 감시 기술, 비관제 지역 항공기 고용량 운용(HVO) 및 ATM 자동화 기술이 있음

③ 공간위치 결정 정보

- 정밀 유도, 분리보증 및 착륙에 사용되는 공간 위치 결정 정보는 비행기의 비행에 매우 중요 하므로 신뢰성이 높아야함
- GPS는 미국에서는 표준이 되며, 유럽은 항공을 위해서 1차 공간위치결정 시스템으로 Galileo를 연구 및 개발하고 있음
- UAV는 현재 군 임무를 위하여 자율비행과 몇몇 민간 응용부분에서 GPS를 사용하고 있음
- 위에서 언급된 것과 같은 많은 수의 자동화된 항공기들을 지원하는 단일 소스는 안전성을 충분하게 제공하지 못함
- 지상, 위성 및 항공 센서 시스템을 사용하는 다종의 독립 시스템이 고려되어야 함
- 공간 위치결정 정보는 관성시스템, 위성기반, 지상기반, 레이더 고도계, 자동화된 ATM 센터들의 다양한 센서들과 결합된 최적화된 데이터 링크 판단에 의하여 항공기에 제공될 수 있으며, 2대 이상의 항공기들 사이의 상대적 공간 위치는 터미널 지역과 공항지상 운용에서의 분리 보장을 위하여 항공기간의 거리측정시스템을 데이터 링크들로 보강됨
- 그러므로 다중으로 고장이 발생해도 기능적으로 상실이 없는 운용능력을 갖는 설계 방법이 공간위치결정 정보시스템에 이용되어야함

④ 감시

- 항공기 운항계획의 감시는 하위의 소스로부터 얻을 수 있으며, 임무가 중요한 네트워크 항법 정보에서 도출될 수가 있음
- 보안을 목적으로 하는 감시는 큰 위협이 될 소지가 있으며 관제지원을 받지 않는 항공기들을 포함한 모든 항공기들을 추적 및 식별 가능한 독립된 시스템을 갖고 있어야함

- 안전이 우선시되지 않더라도 보안용 감시시스템은 가용성이 높고 사보 타지로부터도 보호되어야함

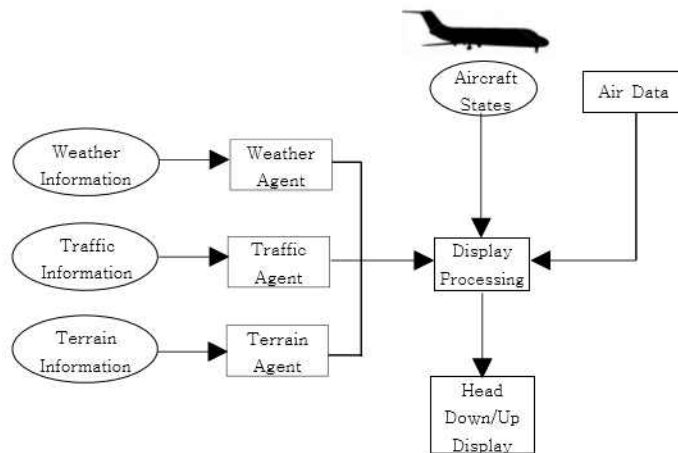
⑤ ATM 정보 처리 및 절차

- 완전히 자동화된 ATM에서의 정보 처리 및 절차는 안전에 매우 중요해짐
- 요소들에 대한 아키텍처 특성은 자동화된 ATM과 운용개념이 가능하도록 정의된 공역 관리방법에 의존됨
- 운용개념은 UAV 화물 항공기와 자동화된 개인 항공기에서부터 민간 공역에서 운영되는 초대형 여객기와 우주선에 이르기까지의 모든 형태와 등급의 항공기는 운용모드를 커버해야 함
- 사람이 조종하고 승객이 탄 대형 항공기와 무인항공기를 분리하기 위하여 동적인 공역 관리(DAM)를 고려하여야 함
- 지상시스템 및 항공기에서 한쪽이나 상대 쪽이 고장이 발생하거나 혹은 공중과 지상간의 데이터 링크가 불가능해질 때를 대비하여 항공기 분리보장과 지상기반 시스템과 항공기의 ATM기능 부분의 이중화를 고려하여야함
- 자동화된 ATM처리 S/W들도 서로 다른 형식으로 다중화가 이루어져 있어야 함
- TSAFE는 짧은 시간에 예상될 수 있는 충돌에 대한 분리 기능이 사라지는 것을 막기 위하여 배타적으로 사용하는 전용 ATS와 독립적인 한 묶음의 알고리즘들임
- 자동화된 ATM을 위하여 필요한 안전에 치명적인 정보는 안전이 최우선시 되는 통신망을 통하여 전달되어야함
- 처리 및 탐지 시스템은 안전에 아주 중요고, 발생 가능성이 희소한 어떤 심각한 상황을 제외하고는 항상 완전한 기능을 제공해야함
- 시스템의 몇가지 요소들은 주기적으로 고장 날 가능성이 있고, 그것은 반드시 서로 상이한 형식의 다중화 방법을 이용해서 다중 고장 운용 능력을 갖추도록 설계되어야함

⑥ 항공전자시스템

- 관제 공역에서 운용되는 항공기들의 항공전자장비는 몇 가지 안전에 치명적인 요소들을 포함함
- 자동화 운용을 위한 비행제어시스템은 항공기가 이륙에서부터 자동 착륙 및 지상운용에 이르기까지 완벽히 자동화된 비행을 지원해야함

- FMS는 이륙을 위하여 제동장치를 푸는 것에서부터 착륙에 이르기까지의 자동 운용을 제공함
- 이 시스템들은 다중의 고장운용 기능을 가져야 함
- 관제 구역에 있는 모든 항공기는 지상기반의 자동화된 ATM 시스템과 개별적인 자동 충돌 탐지와 해결 기능과 자동화 교통 경보와 충돌 방지 시스템을 갖춰야함



통합형 항공전자 시스템

⑦ 통신시스템

- 통신 기술이 아날로그에서 디지털로 진화하는 데에는 ATM 시스템의 이해 당사자들 간의 데이터 교환에 대해 증가된 필요성이 한 몫을 하였음
- ATM 시스템 내에서 모든 종사자와 시스템들이 완전히 통합되기 위하여 보안 요구사항에 구체적인 주의가 요구됨
- 데이터 통신의 이용이 증가함에 따라 음성 데이터는 궁극적으로 백업 장치로 남겨둠
- 항공통신 도메인은 공대지 이동통신과 지대지 고정통신 등 2가지의 부문으로 나누어짐
- 우주와 공중 및 지상에서 다른 운용환경에 따라서 다양한 물리적 통신시스템들은 계속하여 존재함
- ATS와 AOC 데이터 서비스를 위하는 체계전반정보관리(SWIM)를 지원을 하면서 전체 통신 기반시설에서 안정된 엔드-투-엔드 서비스 품질 관리(End-To-End QoS Management)를 보증하는 일반통신 전송계층의 개발은 통신 분야의 큰 발전이 됨
- IP에 기초한 기존의 데이터 링크와 디지털 음성을 수용하는 새로운 IP전송계층 프로토콜을 가지는 ATN/ISO 프로토콜을 개량하는 것을 필요로 함

- 전송계층의 개발은 여러 데이터 통신 서브 네트워크 기능의 발전과 밀접하게 연관이 되어 있음
- 소프트웨어로 정의된 무선통신은 항공전자의 통합과 세계적으로 변화를 촉진시킬 것이며, 모든 공역 사용자들에게 가용하게 됨

⑧ 데이터링크

- 항공기가 공역에서 운항하기 위하여 지역관제소와 음성으로 통신이 이루어짐
- 1990년 초 국제민간항공기구(ICAO)는 현존의 항행 시설과 관리 형식으로는 미래 항공 교통 수요를 감당하기 힘들다는 인식으로 미래 항공 교통에 대처하고 교통 운용 효율화와 안전성, 새로운 서비스 창출을 고대하는 차세대 위성 항행 시스템을 구체화하였음

⑨ 항법시스템

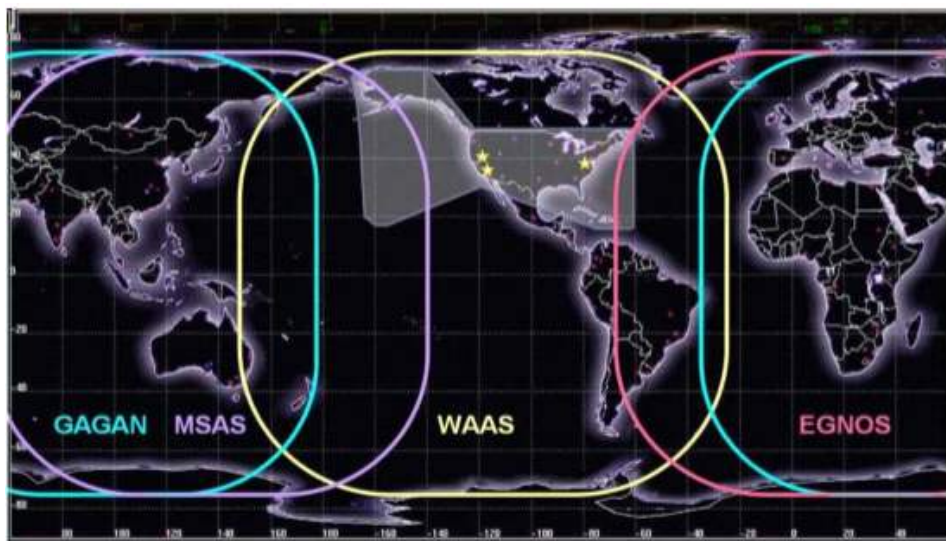
- 항법서비스의 목적은 모든 단계에서 항공기의 위치결정과 경로를 관리하기 위함임
- 항법기술은 항법 성능 요구사항에 기초하여 지상의 기반시설에서 위성기반시설로 전환이 이루어지면서 상당한 발전을 이룸
- 항공관련 항법기술은 항로/터미널 항법, 접근 및 착륙 유도, 공항지상이동과같은 비행단계를 고려하여 개발됨

NAVIGATION TECHNOLOGIES NAVIGATION NEEDS	GNSS					Terrestrial Aids		On-Board Navigation Means				Airport	FMS
	NT11	NT13	NT14	NT17	NT18	NT22	NT25	NT31	NT10	NT32	NT33	NT63	
	GPS L1 and L5	Galileo	Glonass	SBAS (EGNOS-WAAS)	GBAS	DMIE / DME	ILS, MLS	Vertical Navigation Systems (VNS/IRS)	ABAS (RAIM only)	Barometric Altimetry	HUD, EVS	Airport Surface Guidance Technologies	
1) En-route & TMA: Positioning													
Horizontal Position	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓			
Vertical Position													
Time													
2) En-route & TMA: Trajectory Management													
2D-RNAV													✓
2D-RNP													✓
3D / Vertical Navigation													✓
4D / Time Constrained Navigation													✓
3) Approach & Landing: Navigation & Positioning													
Non-Precision Approaches	✓	✓	✓	✓		✓			✓				
Cat I / Near Cat I Approaches	✓	✓	✓	✓			✓				✓		
Cat II/III Approach & Landing	✓	✓	✓	✓	✓		✓						
Special Approaches (Curved, Steep, Offset)	✓	✓	✓	✓				✓					
4) Airport Surface: Navigation & Positioning													
Airport Surface Positioning	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	

항법기술

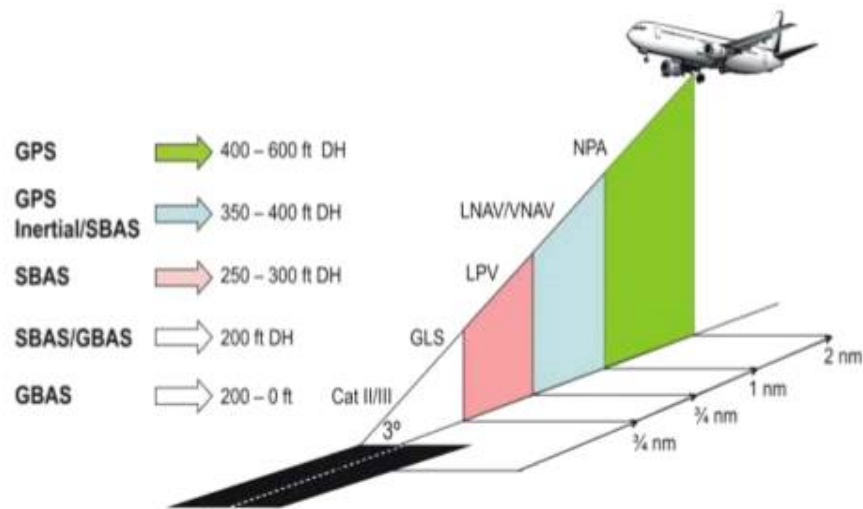
- 그림은 현재와 향후 비행단계, 소요 분야별로 필요로 하는 항법관련 후보 기술의 요약임

- 그림에서 보면 위성항법은 산악 및 대양 지역을 불문하고 전 세계적으로 공역에서 빈틈없는 항법서비스를 제공하는데 탁월하지만 추가의 보정항법 시스템과 기상 탐재장비가 구비되어야함
- ICAO에서 추진하고 있는 성능기반항법(PBN)과 Cat I급 접근을 위하여 최소한 위성기반보정시스템(SBAS)이 필요하고 Cat II/III 접근과 착륙에는 지상기반보정 시스템(GBAS)이 필요함
- 계기를 이용하는 오프셋 접근, 급경사 접근, 선회 접근 등과 같은 특별접근은 위성항법시스템의 특성이라 할 수 있음
- 우리나라는 일본의 MSAS와 인도의 GAGAN의 범위 내에 놓여 있기 때문에 최소한의 예비 율은 갖춘 셈임
- 신호의 통달 범위는 GEO 위성의 궤도위치에 따라서 대략적인 커버리지를 나타낸 것이기 때문에 범위에 있더라도 가시선이 확보되지 않을 수도 있고, 신호의 품질이 안 좋으면 서비스의 이용이 불가능함



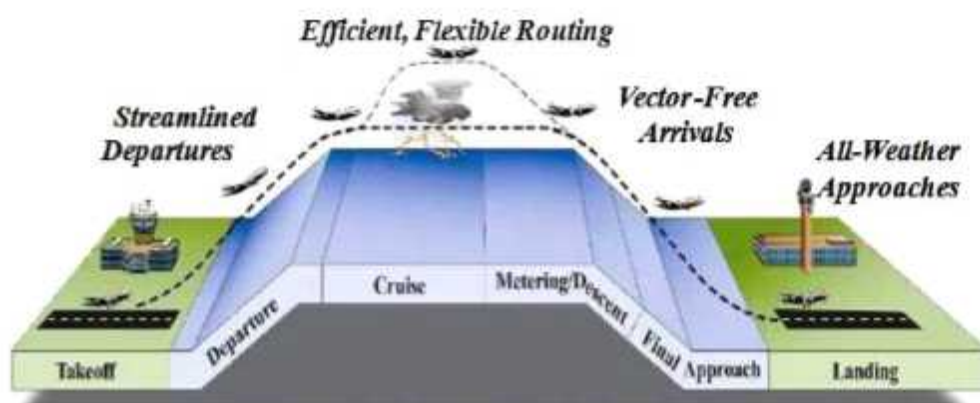
전세계 SBAS 신호 통달 범위

- GPS 기본시스템을 이용하는 비 정밀 접근의 결심고도는 400-600피트인 대신 보정시스템(SBAS/GBAS)을 추가로 사용한 GLS의 결심고도는 200피트에 이릅니다



GPS기반 접근절차

- 성능기반항법(PBN)은 특정 기술이나 장비보다는 성능에 기반을 둔 End-To-End 항공교통시스템으로써 지역항법(RNAV)과 요구항법성능(RNP)으로 분류됨
- 효율성과 안전성이 중요하기 때문에 여러 가지의 탑재시스템과 외부 신호를 이용할 수 있는 현대 항공기의 기능에 바탕을 두고 있음
- 그림은 PBN 운용상의 장점에 대한 계층적 구조를 보여줌.
- PBN의 궁극적 운용능력은 GNSS와 보정시스템에 기반을 두었으며, ICAO는 효율성, 수용량 및 안전성을 증대시키고 기존 항행지원시스템에 대한 비용을 감소시킬 것으로 예상되기 때문에 2025년까지 전 세계적 구축을 완료하는 것으로 계획하고 있음



PBN의 전비행 경로상의 장점

(바) 선행 특허 조사

- PAV 운영과 관련된 선행 기술과 아이디어 조사를 위하여 선행 특허 조사를 실시함
- 특허 조사 시 검색어의 선정기준은 개인(운송)용 소형 비행체에 연관성이 가장 높은 공지기술들 위주로 추출하여 각각의 내용과 유사성 및 차이점을 비교 분석함
- 사용된 데이터베이스는 표 13과 같이 KIPRIS와 WIPS이고, 한국, 미국, 일본, 유럽의 1995.01.01~2017.09.30 까지 공개 또는 등록된 특허를 대상으로 조사를 진행하였음

특허 조사기준

국가	사용 DB	검색 범위	검색 년도	검색 범위
한국	KIPRIS WIPS	공개/등록특허	1995.01.01~ 2017.09.30 (공개일자 기준)	자유검색, 청구범위
일본	KIPRIS WIPS	공개/등록특허		자유검색, 청구범위
미국	KIPRIS WIPS	공개/등록특허		자유검색, 청구범위
유럽	KIPRIS WIPS	공개/등록특허		자유검색, 청구범위

- 개인(운송)용 소형 비행체의 운영 또는 지원 관련 기술의 선행특허를 표 14와 같이 적절한 키워드를 조합하여 검색하였으며, 검색된 특허의 요약본을 통해 특허 추출 과정을 거쳐 한국특허로 25건을 선정하였음
- 표는 선정한 주요 특허 리스트이며 각 특허의 요약서를 작성함

조사방향 및 검색식

기술개요	개인(운송)용 소형 비행체의 운영 또는 지원에 관한 기술임		
기술요소	비행체, 운영, 지원		
조사방향	개인용 비행체의 운영 및 지원		
검 색 식	KR/JP	("Personal Air Vehicle"+PAV+"소형 비행체"+비행체)*(운영+지원)	
	US/EP PCT/JP(PAJ)	("Personal Air Vehicle"+PAV+aircraft)*(operation+operating+support)	
조사대상 시스템 또는 DB	특허 분류 (IPC)	■ G08G5/00	항공기에 대한 교통제어시스템
		■ B64G3/00	우주 항행체의 관측 또는 추적
	조사범위		■ 한국 ■ 일본 ■ 미국 ■ EP ■ PCT
	CD-ROM/Web DB		■ KIPRIS ■ WIPS □ Delphion □ 기타

주요특허 리스트

구분	출원번호	출원일	국가	명칭	출원인
가	10-2003-0075089	2003.10.27.	KR	비행 모드 운영 시스템	국방과학연구 연구소
나	10-2009-0087357	2009.09.16.	KR	컨트롤러의 자세 변화를 이용한 무인비행체 비행 제어 시스템 및 비행 제어 시스템의 운영방법	건국대학교 산학협력단
다	10-2013-0155790	2013.12.13.	KR	티엠오 (TMO) 모델 기반의 무인 비행체의 항법 제어 시스템 및 이의 제어방법	국방과학연구 연구소
라	10-2014-0041782	2014.04.08.	KR	비행자동차 운영 시스템 및 운영 방법	양연철
마	10-2014-0195858	2014.12.31.	KR	소형 비행체 및 그 비행체를 이용한 물건 배송 방법	주식회사 케이티
바	10-2014-0196051	2014.12.31.	KR	소형 무인비행체의 3G/LTE망을 통한 비행 인증 방법	가온소프트 (주)
사	10-2015-0056089	2015.04.21.	KR	소형 무인비행체를 이용한 비전 기반의 구조물 안정성 검사 방법	순천대학교 산학협력단
아	10-2015-0065493	2015.05.11.	KR	무인 비행체를 이용한 AIS 포드 모의 장치 및 방법	국방과학연구 연구소
자	10-2015-0111566	2015.08.07.	KR	드론의 충전 및 관리를 위한 스마트 드론 하우스 및 그 운영 방법	한양대학교 산학협력단
차	10-2017-0047396	2017.04.12.	KR	무선통신망 기반의 무인비행체 자동운항 운영 방법 및 시스템	그리드스페 이스(주)
카	10-2015-0168222	2015.11.30.	KR	무인항공기 외부조종사 지원 시스템	한국항공우 주연구원
타	10-2015-0170626	2015.12.02.	KR	무인 비행체를 이용한 에스코트 서비스 시스템 및 방법	(주)그린아 이티코리아
파	10-2015-0148318	2015.10.23.	KR	무인 비행체의 비행을 모니터링하는 방법, 사용자 단말, 서버 및 디텍팅 장치	유성훈
하	10-2016-0033727	2016.03.22.	KR	무인 비행체 운영 장치	정재성
거	10-2016-0036174	2016.03.25.	KR	우주 비행체를 위한 원격 명령 생성 방법 및 원격 명령 운영 방법 및 원격 명령 생성 장치 및 원격 명령 운영 장치 및 원격 명령 시뮬레이션 장치 및 우주 비행체	한국전자통 신연구원
너	10-2016-0038588	2016.03.30.	KR	비행체의 위치 추정 방법	한국전자통 신연구원
더	10-2016-0100075	2016.08.05.	KR	무인 항공기의 운항 지원 장치 및 방법	한국전자통 신연구원
러	10-2016-0158980	2016.11.28.	KR	사물인터넷 기반 센서와 무인비행체를 이용한 시설물 유지관리 시스템 및 그 방법	한국건설기 술연구원

머	10-2017-0011772	2017.01.25.	KR	무인 비행체 항로 구축 방법 및 시스템	팅크웨어(주) / (주)엠아이웍스
버	14278444	20020925	JP	비행체의 위치 및 자세의 추측 방법, 추측 장치 및 가상 시야 생성 시스템(generative system)	카와사키 중공업 주식회사
서	22112435	20100514	JP	무인 비행체의 착륙을 지원하는 방법 및 무인 비행체	츄우고쿠 전력 주식회사
어	26124916	20140618	JP	이동체 운행 관리 시스템	미츠비시 전기 주식회사
저	24519155	20100607	JP	조종 지원 장치	토요타 자동차 주식회사
처	14699945	20150429	US	Clean fuel electric multirotor aircraft for personal airtransportation and manned or unmanned operation	Alakai Technologies Corporation
커	15331464	20161021	US	AERIAL DRONE OPERATIONS SUPPORT BASE	Todd A. James / Michael W. Westerfield / Bryan C. James

- 주요 특허 리스트에 포함된 특허의 상세 내용은 별첨된 보고서를 참조

(사) 미래의 PAV 운영 형태

① 향후 PAV 추진 전략

㉠ 국내 기반

- 한국자동차공업회가 발표한 2014년 2월 기준 우리나라의 자동차 생산량은 4,521,429대로 세계 5위 수준임
- 게다가 자동차 부품 관련 중소기업까지 포함하여 자동차에 관련된 업체 수는 3천 5백여 개에 이름
- 이미 정부는 지상 교통수단의 향후 문제점을 파악하여, 이에 대한 대책으로 지능형 자율 자동차에 대한 연구에 투자를 하고 있음



스마트 무인기(KARI)



테일팬-로터 개발(KARI)



OPV (KARI)



연료전지 자동차(현대)

PAV 관련기술 개발(국내)

- 특히, 지능형 자동차에 쓰이는 자동 주행 장치나 안전 시스템, 연료 전지 등은 PAV에 적용시킬 수 있는 공통기술임. 이러한 자동차 기반 기술과 차세대 자동차 기술은 PAV 기술과 유사하여 PAV를 개발하는데 기반기술이 될 수 있음
- 그림과 같이 국내에서는 21세기 프런티어 사업으로 수행된 스마트무인기 개발 사업을 통하여 수직이착륙 모드에서 전진비행모드로 전환할 수 있는 핵심기술을 확보하고, 항공우주부품기술사업을 통해 유인기의 무인기(OPV)화에 성공하였음. 또한 PAV에 활용할 수 있는 회전익 개념 연구로서 고효율 덕트형-로터의 형상 설계 기술에 대한 기초 연구가 수행된 바 있음. 국 내 자동차 회사에서도 배터리나 연료 전지를 이용하는 전기 자동차에 대한 연구가 활발히 수행 중임
- 우리나라는 20세기 후반부터 정보통신(IT) 강국이었음. 특히 반도체와 이동 통신, 인터넷 분야에서 세계적인 수준에 와 있음. IT 분야의 성장을 바탕으로 다른 분야와의 연계를 통하여 새로운 시장을 창출해 나아가야 함. 즉, 무선 인터넷을 사용한 자동 항법 및 통제 시스템, 자동 이착륙, 안전한 운행을 위한 비행제어장치는 뛰어난 IT 기술의 접목이 가능한 부분임

㉠ 차세대 성장동력 산업 육성

- 항공 산업이 우리나라 21세기 국가발전을 견인할 수 있는 필수산업으로 간주하고, 향후 20년 뒤 세계시장을 주도할 항공기의 개발에 집중적인 투자를 해야 함
- 현재 운용되고 있는 민간/군용 항공기는 이미 항공선진국에 의한 선점되어 있으므로 사실상 새로운 시장개척이 거의 불가능함. 그러나 아직 시장이 형성되지 않는 미래 항공기 PAV는 우리의 전략적 기회가 될 수 있음



차세대 성장동력산업 로드맵

- PAV 개발은 개발 위험도가 높고 광범위하여 막대한 재원이 예상되므로 다부 처, 다분야 산업체의 역량을 총집결하는 범국가적 사업으로 추진되어야하며, 성장동력 산업 로드맵을 보여주고 있음

㉔ 국내 개발 역량 활용

- 우리나라는 지금까지 PAV의 지능형 항법과 교통관제 연구에 바탕이 되는 고정익형 플랫폼으로 적용 가능한 소형기 개발 경험을 통해 축적된 기술을 보유하고 있으며, 21세기 프런티어 사업을 통해 스마트 무인기 개발 및 OPV 개발로 신개념 비행체 기술을 획득하였음
- 또한 세계에서 시장 점유율 1위인 반도체 IT 분야를 바탕으로 한 무선 인터넷을 사용한 자동 항법 및 통제 시스템, 자동 이착륙, 안전한 운항을 위한 비행제어장치 등에 IT 기술의 활용이 가능하며, 즉, PAV의 핵심 요소인 지능형 항법 시스템 기반 기술과 국내 전자와 IT 등 경쟁력 있는 기술을 보유하고 있음
- 정부는 지능형 자동차에 대한 투자를 통해 자동 주행 장치나 안전 시스템 연료전지 등은 연구하고 있으며 지능형교통체계(ITS)에 관련된 자동차 기반 기술 및 지능형 자동차 기술은 PAV의 개발 및 시장을 선점하는데 강점이 될 수 있음
- 따라서 국내 자동차산업, IT산업 그리고 항공 산업의 기반은 PAV 개발 및 기술 실현을 한 단계 더 앞당길 수 있게 할 것임

㉠ PAV 항공전자 및 관제 시스템 추진 방향

- PAV 항공전자와 관제시스템은 현재 전 세계적으로 표준화가 진행되고 있는 위성 항행시스템을 근본으로 하여 발전할 것이지만 PAV가 추구하는 운용환경에 맞게 비행체와 엔진 분야 기술이 좀 더 확립이 되어야함
- 국제표준을 통한 글로벌 호환성과 비행안전성을 확보하기 위하여 제도적인 장치가 필요하기 때문에 PAV 항공전자와 관제시스템은 중장기적 계획을 수립하고 기술 개발을 추진해 나가야함
- WAAS, CPDLC, ADS-B, TCAS 등 항공전자 분야의 개발 기간이 표준화 활동을 포함하여 평균적으로 18년이 걸렸기 때문에 PAV 항공전자와 관제시스템도 개발기간을 약 20년 정도로 잡고 실용화를 추진해나가는 전략이 알맞을 것으로 보임
- 위성항행시스템이 표준항행시스템으로 전환이 되는 경우 항공전자 분야의 기술은 빠르게 발전할 것이기 때문에 이 기간 동안에 PAV의 항공전자 기술들도 충분히 국제적으로 표준화가 이루어지며 글로벌 호환성을 확보하게 됨

② PAV 운항 지원용 기상정보시스템

㉡ 항공기상 관련 관측시스템

- 항공기가 운항하는 공간인 공역과 항공로의 기상현상은 비행고도가 매우 낮은 저고도가 아닌 이상 현장측정이 아닌 원격탐측으로 관측되어야 함. 따라서 공역 및 항공로 상의 기상요소 종류 별로 필요로 하는 시스템이 필요함
- 대표적인 항공기 항행에 영향을 미치는 기상현상으로 강풍, 안개(구름), 비, 눈, 먼지(황사), 호우, 폭설, 우박, 뇌전, Ceiling, 적란운(Cb), 바람시어(Wind Shear), Microburst, 난류(Turbulence), 착빙(Icing), 산악파와 같이 16개의 항목이 있음
- 공역 및 항공로 기상감시를 위하여 필요로 하는 관측시스템은 저고도 항공운항 지원에 필수적인 운고계와 시정계, 광역적 기상현상 탐측에 걸맞은 기상위성, 도플러 기상레이더(TDWR), 낙뢰 관측 망, 연직 대기상태 탐측에 적합한 Radiometer, SODAR, LIDAR, Wind Profiler 총 9종으로 요약됨. 최근의 LIDAR는 레이더와 같이 전 방향으로 스캐닝이 가능한 기능을 갖춘 것도 개발됨

㉢ PAV 지원용 기상정보시스템 발전 방안

- 기상위성의 경우 관측시설 문제는 검토의 대상이 될 수 없지만, 황사를 포함하는 대기 중의 분진 이동, 해상과 육상 안개의 분포지역 검출 정확도의 향상을 위한 분

석 기술, 그리고 적란운(Cb)을 식별하여 그 수직적, 수평적 분포를 표출하는 구름 분석 등 항공기상 분야에서 활용성이 높은 개발이 필요함

- 기상레이더는 현재 전 국토와 해역까지 커버할 정도로 탐측영역이 충분하며, 공역 기상감시를 위하여 추가 설치할 필요는 없으나 현재와 같이 강수 에코의 분포와 이동에 국한되어 있는 활용 수준에서 나아가 도플러 기능을 최대한 살려 안전비행에 저해가 되는 적란운(Cb)에 동반된 난류(시어 및 microburst 포함), 호우, 우박, 폭설 등의 존재 가능성을 지시하는 차원 높은 콘텐츠 개발이 필요함
- 낙뢰 관측망은 세계적으로 높은 성능을 가지고 있고 탐측영역 또한 주변 국가 경계까지 미칠 정도로 범위가 넓으므로 관측망을 보강하기 보다는 활용도를 높일 수 있는 표현 형식의 개선이 필요함
- 항공기상지원에 보다 효율적인 콘텐츠 개발이 필요하고, 가능하면 낙뢰 위험성을 알려 주는 단일 장비로서의 낙뢰감지기의 보완은 긍정적으로 검토 및 추진할 필요가 있음

(2) 항공기상정보 서비스 분석

(가) 현재의 항공기상 서비스 분석

① 공공 항공기상 서비스

- 대부분의 국가에서 현재의 공공 항공기상 서비스는 공군 및 육군 등 군용기, 항공사 commercial airliner, 기타 소형의 의료구급/비즈니스/민간 항공기들을 대상으로 형성됨
- 기존의 항공기상 서비스는 출발/도착지가 대부분 공항으로 한정되었고, 저고도 및 임의의 출발/도착 지점에서의 항공운항에 특화된 기상정보 제공 서비스는 미미하거나 전무한 실정
- 2017년 11월 20일 현재 시점에서, PAV 등과 같은 운용 범위를 갖는 일반적인 저고도 항공기 운전자 등이 해외 각국의 공공의 항공기상 서비스를 통해 얻을 수 있는 공개된 정보들은 아래 표에 요약된 것과 같음

해외 공공 항공기상 서비스들의 일반 사용자들을 위한 공개 기상정보 비교

국가	서비스 주체	Sig Wx	기상도	MET /TAF	Sat	Radar	Pi-Rep	수치자료	제공형태
한국	항공기상청 (AM0)	0	0	0	0	0	X	X	차트
미국	AWC (Aviation Weather Center)	0	0	0	0	0	0	X	맵
일본	日本気象庁	0	0	0	X	0	X	0	차트
호주	Aviation Weather Services	0	0	0	X	X	X	X	차트
홍콩	Hong Kong Observatory	0	0	0	X	X	X	X	차트

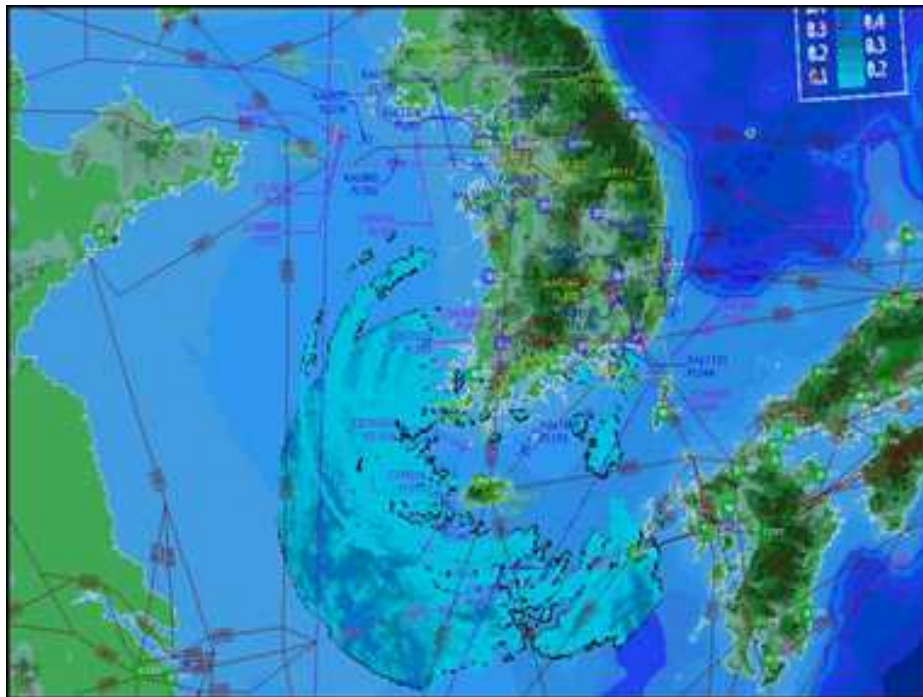
- 기존의 항공교통 관제시스템은 항공기의 안전을 위해 트래픽을 모니터링/관리/통제하는 역할을 수행하면서 발전해왔고, 자동화 기술도 이미 성숙한 단계에 도달하였으며, 다만 저고도/소형/저속/다수의 항공기들을 다루는 PAV 운행체계에서는 그 특성에 맞추어 보완이 필요함
- 향후 PAV의 운행시스템에서는 중앙에서의 판단과 통제보다는 개별 항공기의 자율적인 판단 및 제어가 더욱 중요해지고 (분산 자율화), 지상 관제시스템의 역할은 감시와 분리확보에 더욱 중점을 두게 될 것임
- PAV의 대중화의 선결조건들 중 하나는 “다수의 소규모 공항 및 운항 인프라 확보”인데, 출발/도착 지점 및 비행 항로가 폭발적으로 다양해짐에 따라, PAV의 운행 특성에 맞추어 더욱 customized된 기상정보를 제공할 수 있는 시스템과 정보 인프라가 필요하게 될 것임

② 민간 항공기상 서비스

㉠ 대한항공 항공기상 활용 사례

- 대한항공이 활용 중인 항공기상 정보시스템은, (1) Skyweb : 기상감시 및 분석을 위한 통합 시스템 (공항 기상정보, 항공로 악기상, 기상/비행 감시), (2) KALMET : 승무원 브리핑용 기상제공 시스템, (3) WX Station : 비행계획시스템과 연동된 기상분석 시스템 (고도/시간 모델자료, 태풍, 공항/항로) 로 구성됨
- 기상청 AMDAR(Aircraft Meteorological Data Relay) 사업 지원 - 대한항공은 2006년 11월 30일 기상청과 항공기를 이용한 고층 기상관측 사업을 위한 협약을 체결하고 2006년 12월 1일부터 국내선을 운항하는 항공기 5 대로부터 하루 120 회의 기상 자료를 기상청에 실시간 제공하고 있음

- 이 사업을 통해 기상청은 항공기에 장착된 기상관측 시스템이 수집한 다양한 지역의 고도별 상세한 기상자료를 얻을 수 있게 되었음
- 사업을 통하여 기상청은 라디오존데 . AMDAR GPS 관측에 비해 약 1% 의 비용으로 상층의 기상관측자료를 얻을 수 있고, 또한 라디오존데 자료보다 더 다양한 시간, 더 광범위한 지역의 고층자료를 관측할 수 있는 장점이 있음
- 즉 실시간 기상관측자료를 분석 기상 예보 및 재해 예방 능력을 향상 시킬 수 있으며 장기적으로는 기상예보 신뢰성 향상을 도모할 수 있게 됨
- AWS 자료를 이용한 제주 윈드시어 감시 시스템 - 제주공항에 윈드시어 발생 시 지상에서 감지가 힘들어 실제 항공기 가 착륙 중 윈드시어 조우 시 항공기 안전에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 지상에서도 윈드시어 발생을 감지할 수 있도록 제주와 제주 공항의 자동기상관측시스템(AWS) 자료 그리고 상층 수치모형 자료를 이용하여 윈드시어 강도를 실시간 감지하는 기법을 개발하였음
- 공항 기상 패턴 분석 활용 - 국내 여러 공항의 악기상 현상 패턴을 분석하여 이를 현업에 적용함으로써 공항예보에만 의존하는 운항 결정 방식에서 탈피하고 신뢰도 향상하고자 노력함
- 대한항공 뿐 아니라 국내 대부분의 항공사가 Jeppesen, LIDO, SITA 등 항공 항행 및 운송 정보 전문 회사로부터 WAFS 데이터와 항공예보철 등 운항에 필요한 자료를 제공받고 있음



항공기 감시와 레이더 영상을 통합한 대한항공의 비행감시 사례 [출처 : 대한항공]

㉠ 해외 민간 항공기상 서비스

- COROBOR Systems : 프랑스에 본사를 둔 유럽의 대표적인 기상 솔루션 전문 업체로서 전세계 130개 여 개의 나라에 기상 서비스를 제공. 우리나라 항공기상청도 COROBOR의 항공 기상 프로그램을 현업에 사용하고 있음. 대표적인 항공 기상 서비스는 'MESSIR-AERO'로서 OPMET, SIGWX 차트 등 운항승무원 브리핑용 기상 정보를 제공하여 있음. 'MESSIR-AERO'는 전세계 약 95개 국에 설치되어 운영되고 있으며, ICAO 부속서의 최신 개정 내용이 반영된 표준화된 차트를 제공.
- Flightradar24 : 스웨덴의 온라인 맵 기반의 실시간 항공기 운항정보 제공 서비스. 제공되는 정보는 항적, 출발/도착지, 운항편명, 항공기 정보, 실시간 항공기 위치 및 속도 등을 포함. 또한 과거 항적을 리플레이할 수 있고, 과거 운항기록을 조회할 수도 있음. 주로 ADS-B 수신기를 가진 개인들로 이루어진 전세계 crowdsource 정보망과 미국 NWS 등 기관들에 의해 공개되는 정보등 여러 소스들을 사용. 웹 앱 및 모바일 앱들을 통해 서비스 제공. 기상정보는 제공하지 않음
- Jeppesen : 세계적으로 가장 널리 알려진 flight support provider들 중 하나. 제공되는 맵에 제공되는 기상정보는 National Weather Service로부터의 최신 정보, NEXRAD radar 정보, GOES 위성정보, 및 자체 보유한 항공기상 예보사들로부터의 기상예보 정보들을 포함
- SkyVector : 전세계 항공 차트들과 온라인 맵, 그리고 비행계획 관련 제품/서비스들을 제공. 기상정보, 공항정보, FBO listing 등의 정보들로 이루어진 overlay를 온라인 맵과 결합하여 제공. 기상정보는 METAR/TAF, Sigmet, Airmet, Radar, Satellite, 운고 정보등을 포함
- SunnySpot : 항공 활동을 하는 사람들을 위한 고도별, 시간별 상세 기상 예보
- WeatherNews : 경찰항공대, 소방항공대, 민간헬기운항회사 등에서 상세 예보 정보를 제공

③ 모바일 앱기반 항공기상 서비스

- AeroPlus Aviation Weather : 조종사들을 위한 기상정보 제공 서비스, 온라인 맵 기반 METAR, radar, WinTemp 등 정보 제공
- CloudTopper : 항공 운항 중 사용할 수 있는 카메라 기반 운고 측정 앱
- flightradar24 : 실시간 항공기 운항정보 제공 서비스
- FltPlan Go : 비행계획 + weather briefing
- ForeFlight : 비행계획 + weather briefing. Icing 및 Turbulence 정보 제공
- Garmin Pilot : 비행계획 + weather briefing

- METARS Aviation Weather : 공항 En-route 차트 정보 및 METAR 정보 제공
- MyRadar : 미국 NWS에서 제공하는 radar 정보 제공 앱. 간편한 UI가 특징
- RadarScope : 미국 NWS에서 제공하는 radar 정보 제공 앱. 다양한 옵션
- SkeyTLogPro : 미국 내 공항정보, 운고, Icing, Turbulence, Skew-T log p 다이어그램 등 제공
- WindGuru : 윈드서핑 및 카이트 서핑 등 레저 스포츠를 위한 바람 관측 및 예측 정보 제공
- Windy : 온라인 맵 기반 바람 정보의 관측 및 예측 정보 제공
- WingX : 비행계획 + weather briefing

(나) 항공기상 데이터의 내용 및 구조 분석

① 수치예보모델 데이터 분석

- 수치예보(Numerical Weather Prediction)은 기온, 습도, 바람과 같은 기상요소의 시간변화와 현상을 물리방정식들로 표현하여 수치예보모델을 만들고, 전 세계적인 관측자료들을 입력하여 수시간에서 수백년까지 미래의 대기상태를 예측하는 과정
- 수치예보의 단계는 (1) 전세계에서 관측한 다양한 종류의 관측자료를 수치모델에 입력하여 수치모델의 각 격자점에서 최상의 초기 추정치를 구하는 전처리과정(자료동화), (2) 수치모델의 현재 대기상태로부터 물리방정식들을 이용하여 미래의 날씨를 예측하는 수치모델 시뮬레이션 과정, (3) 수치모델이 생산한 미래의 대기상태 예측자료들로부터 일기도 및 예보자료를 생산하는 후처리과정으로 구성됨
- 현재 한국 기상청에서 사용되는 수치예보모델은 영국기상청에서 개발한 통합모델(Unified Model)로서, 전지구 예측모델(GDAPS)과 동아시아 지역을 대상으로 하는 지역모델(RDAPS) 그리고 한반도를 대상으로 하는 국지 예보모델(LDAPS)이 있음
- 한반도 내 저고도 PAV의 항공기상 서비스에 적합한 분해능을 가진 국지예보모델(LDAPS)의 수평분해능은 1.5km이고, 수직분해능은 지상으로부터 약 40km까지 70개 층을 가지며, 3 시간 간격으로 최대 36시간 후 까지를 예측하는데, 매일 4회 예측데이터를 생성하고 있음
- 한국 기상청의 국지 예보모델(LDAPS)의 기상요소들은, 593(동서)×781(남북)의 수평격자(동서방향 : 121.798 E부터 1.5km 간격, 남북방향 : 32.84242 N부터 1.5km 간격)로 구성되어있고, 1000hPa에서 10hPa까지 24개의 등압면에서 총 7개의 변수들(풍향/풍속, Geopotential Height, 온도, 습도 등), 그리고 단일면/토양면에서 총 78개의 변수들(강수, 표면온도, 표면기압, 표면 풍향/풍속, 시정, 안개, 이슬점, 최대풍속, 운량/운고 등)을 제공함

- 한국 기상청의 수치예보모델 데이터는 한국기상산업기술원을 통하여 민간 기상정보 사업자들에게 FTP push 방식으로 배포되고 있으며, 제공되는 변수들의 내용 및 특징은 아래 표에 나타난 것과 같음

수치예보모델 데이터 등압면 예보변수 (8종)

Sec	Item	Name	Time	Domain	Abbrev.
15	242	Vertical Velocity (Pressure Level)	1시간 순간값	24개 등압면	DZDT
15	243	U-component of wind	1시간 순간값	24개 등압면	UGRD
15	244	V-component of wind	1시간 순간값	24개 등압면	VGRD
15	202	Geopotential Height (Pressure Level)	1시간 순간값	24개 등압면	HGT
15	203	Temperature (Pressure Level)	1시간 순간값	24개 등압면	TMP
15	204	RH wrt. Ice ON PLEV	1시간 순간값	24개 등압면	RHICE
15	256	Relative Humidity	1시간 순간값	24개 등압면	RH

수치예보모델 데이터 단일면/토양면 예보변수 (78종)

Sec	Item	Name	Time	Domain	Abbrev.
0	23	Vertical Velocity (Pressure Level)	1시간 누적값	단일면	SNOAL
0	24	Surface Temperature	1시간 순간값	단일면	TMP
0	25	Planetary Boundary Layer Height	1시간 순간값	단일면	HPBL
0	26	Surface Roughness	1시간 순간값	단일면	SFCR
0	30	Land cover	1시간 순간값	단일면	LAND
0	31	Fraction of Sea Ice	1시간 순간값	단일면	FRICE
0	33	Orthography	1시간 순간값	단일면	DIST
0	409	Surface Pressure	1시간 순간값	단일면	PRES
1	201	Net Down Surface SW Flux	1시간 평균값	단일면	NDNSW
1	230	Direct SW Flux (ON RHO LEVELS)	1시간 평균값	ρ_level 제1층	SWDIR
1	231	Diffuse SW RAD Flux (ON RHO LEVELS)	1시간 평균값	ρ_level 제1층	SWDIF
1	235	Total Downward Sfc. SW Flux	1시간 평균값	단일면	TDSWS
2	201	Net Downward Sfc. LW Flux	1시간 평균값	단일면	NDNLW
2	205	Outgoing LW Flux(TOA)	1시간 평균값	단일면	OULWT
2	207	Downward LW RAD Flux (Surface)	1시간 평균값	단일면	DLWS
3	025	Boundary Layer Depth after B. LAYER	1시간 순간값	단일면	HPBLA
3	202	Heat Flux from Sfc. to Deep Soil 1	1시간 평균값	단일면	HFSOIL
3	208	Lowest Layer Bulk Richardson No. RIB	1시간 평균값	ρ_level 제1층	LLRIB
3	209	U-Component of wind	1시간 순간값	단일면	UGRD

3	210	V-Component of wind	1시간 순간값	단일면	VGRD
3	217	Sfc. Heat Flux	1시간 평균값	단일면	HFSFC
3	219	X-comp. Sfc. & BL Wind Stress	1시간 평균값	θ_level 제1층	XBLWS
3	220	Y-comp. Sfc. & BL Wind Stress	1시간 평균값	θ_level 제1층	YBLWS
3	234	Latent Heat NET Flux	1시간 평균값	단일면	LHTFL
3	236	Temperature	1시간 순간값	단일면	TMP
3	236	minimum Temperature	1시간 최저값	단일면	TMIN
3	236	Maximum Temperature	1시간 최고값	단일면	TMAX
3	237	Specific Humidity	1시간 순간값	단일면	SPFH
3	241	Total Surf Moisture Flux per time step	1시간 누적값	단일면	TOMFS
3	245	Relative Humidity	1시간 순간값	단일면	RH
3	247	Visibility	1시간 순간값	단일면	VIS
3	248	Fog Fraction	1시간 순간값	단일면	FOGFR
3	250	Dewpoint Temperature	1시간 순간값	단일면	DPT
3	253	Prob. of Visibility less than 5km	1시간 순간값	단일면	PVIS5
3	254	TL of 1.5m	1시간 순간값	단일면	15TL
3	255	QT of 1.5m	1시간 순간값	단일면	15QL
3	281	visibility at 1.5m(incl precip)	1시간 순간값	단일면	VISIP
3	290	Surface Sensible Heat Flux on Tiles	1시간 순간값	9 tiles	SHFLT
3	304	Turbulent mixing height after B. Layer	1시간 순간값	단일면	HTBM
3	306	Stratocum. over Stable BL Indicator	1시간 순간값	단일면	SCST
3	308	Decoupled SC. not over CU. Indicator	1시간 순간값	단일면	DSCNC
3	309	Decoupled SC. over CU. Indicator	1시간 순간값	단일면	DSCOC
3	314	Surface Net Radiation on Tiles	1시간 순간값	9 tiles	NETTL
3	316	Surface Temp. on Tiles	1시간 순간값	9 tiles	STOT
3	319	Canopy Height on PFTS	1시간 순간값	5 pfts	HCNP
3	321	Canopy Water ON Tiles	1시간 순간값	5 pfts	WCNP
3	328	1.5m Temperature over Tiles	1시간 순간값	9 tiles	T15T
3	329	1.5m Specific Humidity over Tiles	1시간 순간값	9 tiles	SH15
3	360	Height of Decoupled Layer Base	1시간 순간값	단일면	HDLB
3	462	Stomatal Conductance on PFTS	1시간 순간값	5 pfts	STCP
3	463	Maximum Wind Speed	1시간 최대값	단일면	MAXGUST
3	476	Combined Boundary Layer Type	1시간 순간값	단일면	CBLT
4	201	Large-scale Precipitation	1시간 누적값	단일면	NPCP
4	202	Large-scale Snow	1시간 누적값	단일면	SNOL
4	203	Large-scale Precipitation Rate	1시간 평균값	단일면	LSPRATE
4	204	Large-scale Snowfall Rate	1시간 평균값	단일면	LSSRATE
8	201	Land Snow Melt Amount	1시간 누적값	단일면	SNOM

8	223	Soil Moisture Content in a Layer	1시간 순간값	토양층	SMCL
8	225	Soil Temperature(Validation to deprecate)	1시간 순간값	토양층	TS01L
8	234	Surface Runoff rate	1시간 순간값	단일면	ROFR
8	235	Sub-Surface Runoff Rate	1시간 순간값	단일면	SROFR
9	202	Very Low Cloud Cover	1시간 순간값	단일면	VLCDL
9	203	Low Cloud Cover	1시간 순간값	단일면	LCDC
9	204	Medium Cloud Cover	1시간 순간값	단일면	MCDC
9	205	High Cloud Cover	1시간 순간값	단일면	HCDC
9	210	Cloud Base for >2.5 Octa KFT	1시간 순간값	단일면	CB25
9	212	Cloud Base for >4.5 Octa KFT	1시간 순간값	단일면	CB45
9	216	Total Cloud Amount - Random Overlap	1시간 순간값	단일면	TCAR
9	217	Total Cloud Amount - Max/Rdm Overlp	1시간 순간값	단일면	TCAM
9	218	Cloud Fraction below 1000FT ASL	1시간 순간값	단일면	CFB10
9	219	Low Cloud base(FT ASL)	1시간 순간값	단일면	LCB
9	221	Wet Bulb Freezing Level Height	1시간 순간값	단일면	WBFLH
9	223	Total Cloud Top Height (KFT)	1시간 순간값	단일면	TCTH
15	245	50m-Wind U-component	1시간 최소값	단일면	50MU
15	245	50m-Wind V-component	1시간 최대값	단일면	50MU
15	246	50m-Wind U-component	1시간 최소값	단일면	50MV
15	246	50m-Wind V-component	1시간 최대값	단일면	50MV
16	222	Pressure Reduced to MSL	1시간 순간값	단일면	PRMSL

② 항공기상 정보 운영 및 활용특성 분석

- 항공기상관측(METAR/SPECI)은 항공기 안전운항에 필요한 기상정보를 생산·제공하기 위하여 항공기상 관서가 공항 내 대표지역의 기상상태를 규정에 의해 측정하는 업무로서, 정시관측 및 특별관측, 그리고 수시관측으로 구성됨
- 정시관측(METAR)은 1시간 간격으로 매일 24시간동안 실시해야 하며, 지상풍, 시정, 활주로가시거리, 현재일기 및/또는 구름, 기온, 이슬점온도, 기압, 보충정보 등을 포함. 인천공항은 지역항공 항행협정에 의거 매 30분 관측을 추가 실시해야 함. 관측시간은 공항별로 해당 공항 당국 및 항공사와 협의 조정함
- 특별관측(SPECI)은 정시관측 사이에 지상풍, 시정, 활주로가시거리, 현재일기 또는 구름에 관한 특정 기준값 이상의 변화가 있을 때 실시하는 관측으로 국제규정에 정해진 특정 기준값이나 기상당국이 항공교통업무당국, 운항자 및 기타 관련자들과 협의하여 정한 값에 따라 수행함
- 공항예보(TAF; Terminal Aerodrome Forecast)는 일정기간(보통 6시간에서 30시간)동안 공항에서 예상되는 우세한 기상현상에대하여 국제적으로 합의된 부호를 사

용하여 서술한 텍스트 정보로서, 국제공항에 대한 공항예보는 일 4회(05, 11, 17, 23UTC) 발표하며, 국내공항에 대한 공항예보는 일 4회(00, 06, 12, 18UTC) 발표함. 다만 항공기 운항 상황을 고려하여 필요한 경우에는 공항예보의 발표시각 및 유효시간을 조정할 수 있음. 공항예보의 유효시간은 각각의 발표시각 1시간 이후부터 30시간 이내로 하며, 새로 발표되는 공항예보는 이전에 발표된 공항예보를 대체함

- 한국 기상청에서 배포하는 항공기상자료는 크게 AMOS 관측자료, KMA(한국기상청)를 통해 수집된 METAR/TAF 자료, KMA의 항공특보, KAF(공군) 기상단을 통해 수집된 군공항 METAR/TAF, 그리고 RKTf의 METAR/TAF로 구성됨
- 2017년 11월 20일 기준 항공기상자료는 총 15,782개의 파일로써 구성되어 있는데, 그 중 AMOS 관측자료가 13,826건으로 절대 다수를 차지하고, KMA METAR/TAF가 802건, KAF METAR/TAF가 223건, RKTf METAR/TAF가 931건을 차지함
- AMOS 및 METAR/TAF 자료들의 업데이트 주기는 대략 10분에서 1시간 정도의 다양한 주기를 가지며, 정보 처리 및 전달과정에서 일정 정도의 지연이 발생. 또한 일부 정보(특히 SPECI)는 임의의 시간에 생성되고 배포될 수 있음. 따라서 임의의 시간에 업데이트 될 수 있는 것으로 전제하고 실시간 처리를 할 필요가 있음
- KMA, KAF, RKTf에서 각각 수집되어 배포된 METAR/TAF 정보는 서로 중복되는 공항정보들을 포함하기 때문에, type, 공항식별자, 기준시간으로 구성된 identification group의 정보를 이용하여 중복된 정보들을 제거하는 과정이 필요함
- 공항 정기 관측정보 (METAR 및 SPECI)에 포함되는 정보의 내용 및 분해능은 아래 표에 설명되어있음

METAR 및 SPECI 항공기상 관측의 단위와 범위 및 분해능 (ICAO Annex3)

요소	단위	분해능	비고/간격
활주로	-	01 - 36	1
풍향	° true	000 - 360	10
풍속	MPS	00 - 99*	1
	KT	00 - 199*	1
시정	M	0000 - 0750	50
	M	0800 - 4900	100
	M	5000 - 9000	1000
	M	10000 -	0 (고정값 : 10 km)
활주로 가시거리	M	0000 - 0375	25
	M	0400 - 0750	50
	M	0800 - 2000	100
수직시정	30' S M(100' S FT)	000 - 020	1
운저고도	30' S M(100' S FT)	000 - 100	1
기온/이슬점온도	degree	-80 - +60	1
QNH	hPa	0850 - 1100	1
해수면온도	degree	-10 - +40	1
바다상태	-	0-9	1

유의파고	M	0-999	0.1
활주로지시자	-	01-36; 88; 99	1
활주로퇴적물	-	0-9	1
활주로오염	-	1; 2; 5; 9	-
퇴적물깊이	-	00 - 90; 92 - 99	1
마찰계수/제동행위	-	00 - 95; 99	1

(3) 기상정보 서비스 모델 설계

(가) 수요자 요구도 조사

① 설문조사 개요

- 본 연구의 저고도 항공기의 안전운항을 위한 기상서비스 구현방안 연구로 주요 수요자인 국내 저고도 항공기 조종사를 대상으로 설문조사를 활용하여 연구를 진행하였음
- 연구조사 기간은 2018년 5월 20일부터 6월 22일까지 32일간 진행되었으며, 총 설문지 300부 중 유효 설문지는 229부가 회수됨
- 연구 참여자의 연령대는 30대 이하 조종사가 178명, 50대 이상의 조종사 51명으로 구성되어 있음
- 설문 대상자 성별은 남성 210명, 여성 9명이며, 항공기 종류는 헬리콥터 120명, 비행기 109명이 설문에 응답함
- 설문 대상자의 비행경력은 2년 이하에서 10년 이상의 조종사까지 비교적 일정한 비율로 분포됨
- 설문 대상자 주 비행활동(Mission)은 군 조종사(37.6%), 학생조종사(23.1%), 교관 조종사(17.5%), 일반항공 조종사(15.3%), 운송용조종사(6.5%)로 국내 비행활동 대부분이 포함됨
- 설문 대상자의 비행 중 불안정한 행위(사고, 준사고, 안전저해요소 등) 경험한 사례를 분석한 결과 악기상에 의한 사례가 63.3%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 그 다음으로 항공기 결함(38.4%), 승무원 협동절차 미숙(24.9%), 통신 결함(12.7%) 순으로 조사됨
- 본 설문조사의 목적은 기상정보의 효과적인 활용을 위하여 항공 기상의 수요자를 대상으로 설문조사를 실시해 제공되고 있는 항공기상정보 서비스의 개선되어야 할 부분과 앞으로 추가되어야 할 사항을 인지하는 것을 목적함

② 설문조사 방법 및 통계적 특성

- 저고도 항공기 운항과 관련된 사람들을 대상으로 구글 드라이브에서 웹 기반 응답 방식으로 총 32일간 실시하였으며, 비확률 표본방법 중 자발적 표본추출을 표본 추출 방법으로 선택함
- 자발적 표본 추출이란 자발적으로 조사에 응답하는 사람만을 표본으로 삼는 것을 말하며, 조사에 응하는 사람들과 그렇지 않은 사람들이 특정 내용에 대한 관심도나 가치관이 다르기 때문에 조사 결과가 일부 왜곡될 소지가 있다는 단점이 있음
- 하지만 관련 내용에 관심이 높은 사람들이 향후 서비스를 이용할 가능성이 높을 수 있으므로, 이 방법이 적절할 수 있음

설문조사 방법 및 통계적 특성

구분	내용
조사 기간	2018년 5월 20일부터 6월 22일까지 32일간
조사 방법	웹 기반 설문조사
조사 대상	비행교육기관, 군 비행부대 등 저고도 항공기 운항 승무원
표본 추출방법	비확률 표본방법 - 자발적 표본추출
참여인원	229명
통계 분석특성	각 항목에서 요구하는 답이 부분 독립이므로 빈도분석을 행함

③ 설문조사 항목

- 본 연구에서는 소형항공기 운항 지원을 위하여 효율적인 정보 전달 체계를 위한 운전자 요구도 조사 및 분석을 위해 비행 전 또는 비행 계획단계에서의 기상정보(5문항), 비행 중 기상정보(5문항), 기타(3문항)의 총 13문항으로 구성함

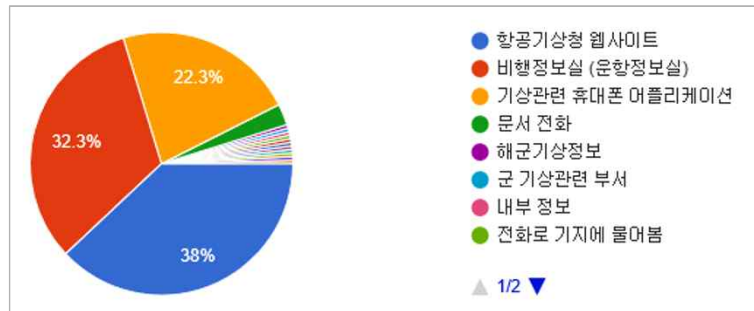
설문조사 항목

조사분야	주요 내용
비행 전 또는 비행계획 단계 기상정보	- 활용하는 기상정보 제공 형태 - 항공기상 제공 정보 중 중요하다고 생각되는 것 - 정보의 정확도에 관하여 중요한 항목 - 제공되는 기상정보 중 높은 정확도가 요구되는 항목 - 기상정보의 제공 형태
비행 중 기상정보	- 활용하는 기상정보 제공 형태 - 항공기상 제공 정보 중 중요하다고 생각되는 것 - 정보의 정확도에 관하여 중요한 항목 - 제공되는 기상정보 중 높은 정확도가 요구되는 항목 - 기상정보의 제공 형태
기 타	- 항공기상 정보 해독 시 주로 활용하는 단위 - 현재 활용중인 항공기상 정보의 한계점 - 개발되는 기상정보체계에 포함되어야 할 내용

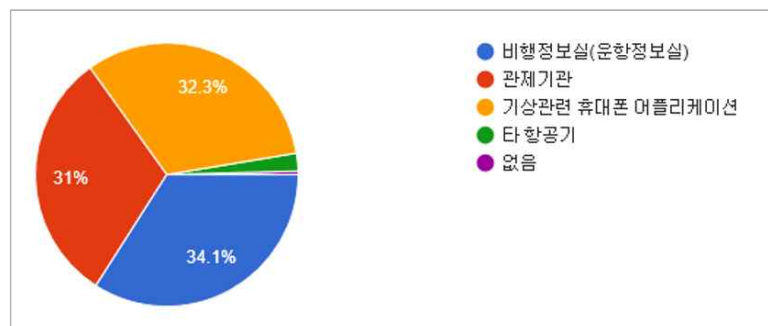
④ 요구도 설문 결과

○ 활용하는 기상정보 제공 형태

- 비행 전 또는 비행계획 단계에서는 항공기상청 웹사이트와 비행(운항)정보실 자료를 주로 활용(70.3%)하고 있으며, 비행 중에는 비행(운항)정보실과 관제기관 자료를 많이 활용(65.1%)중 임



활용하는 기상정보 제공 형태(비행 전)

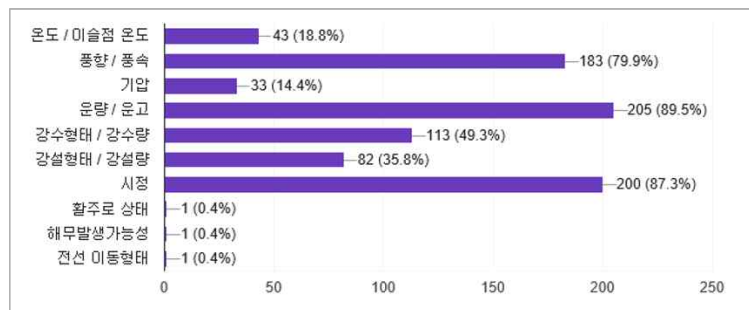


활용하는 기상정보 제공 형태(비행 중)

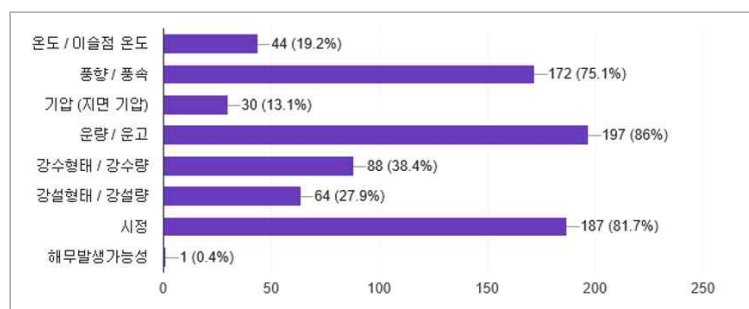
- 저고도 비행특성 상 휴대폰 활용이 가능하다는 장점을 활용, 비행 중에도 휴대폰 어플리케이션을 활용하는 비율(32.3%)도 높은 것으로 분석됨
- 기타 의견으로는 어플리케이션에 대한 정보 신뢰도, 정보 접근의 편의성, 실시간 영상정보체계 등 운전자 입장에서의 편리성과 제공되는 정보에 대한 신뢰도 향상에 대한 의견을 제공함

○ 항공기상 제공 정보 중 중요하다고 생각되는 정보

- 비행 전 또는 비행계획 단계와 비행 중 단계 동일하게 운량/운고 정보를 가장 중요하다고 판단하고 있으나, 시정 역시 비행 전 또는 계획단계에서 87.3%, 비행 중 81.7%로 높은 비율을 차지함
- 이는 항목에 대한 복수선택이 가능하도록 한 결과물로, 조종사가 비행 전/비행 중 동일하게 중요하다고 생각하는 기상 정보는 운량/운고, 시정, 풍향/풍속 등으로 분석됨
- 이를 위한 시정 및 운고 측정을 위한 정확한 측정장비 설치 및 국지적 운량, 운고 시현 등의 장비 활용을 요구함



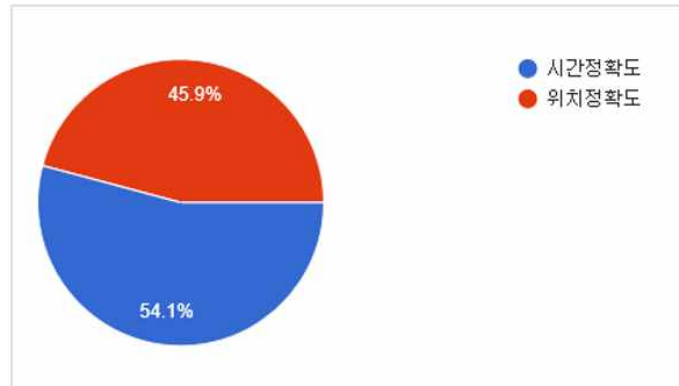
항공기상 제공 정보의 중요도(비행 전)



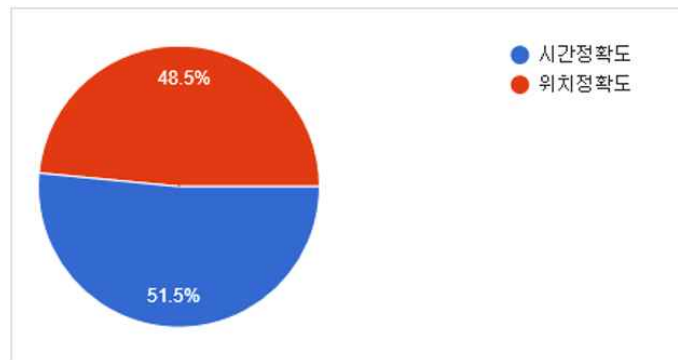
항공기상 제공 정보의 중요도(비행 중)

○ 필요한 정보의 정확도에 관한 중요도 판단

- 비행 전 또는 비행계획 단계와 비행 중 동일하게 시간에 대한 정확도, 위치에 대한 정확도가 균등하게 요구되고 있음
- 추가적인 의견으로는 지역과 시간이 좀 더 세분화 된 기상정보 제공과 짧은 시간의 예보, 저시정에 대한 구역정보 등을 요구함



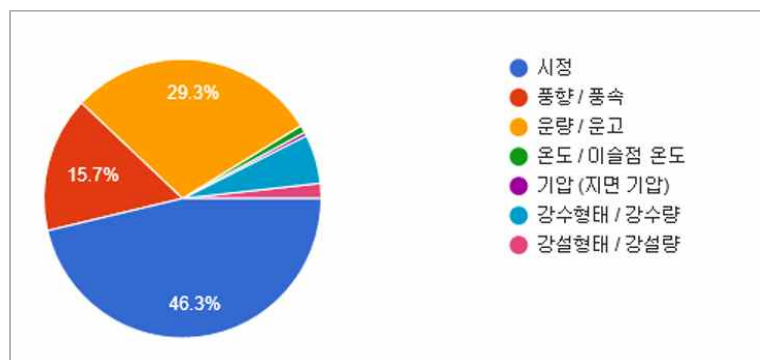
항공기상 정보 정확도에 관한 중요도(비행 전)



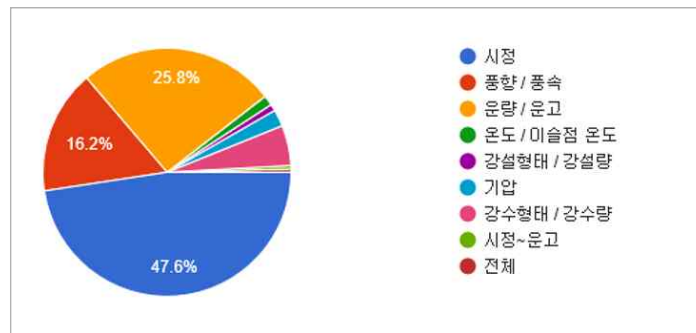
항공기상 정보 정확도에 관한 중요도(비행 중)

○ 제공되는 기상정보 중 높은 정확도가 요구되는 항목

- 비행 전 또는 비행계획 단계와 비행 중 단계 동일하게 시정 정보를 가장 중요하다고 판단하였으며, 운량/운고 역시 비행 전 또는 계획단계에서 29.3%, 비행 중 25.8%로 높은 비율을 차지함



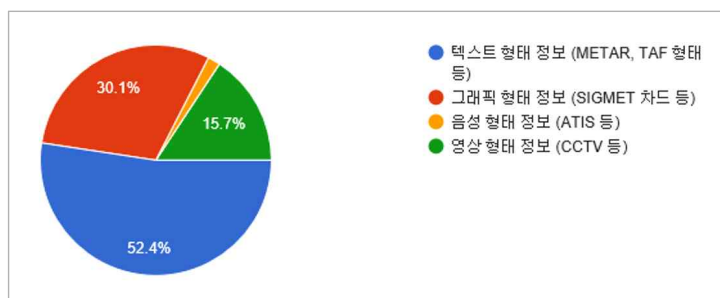
항공기상 제공정보의 정확도(비행 전)



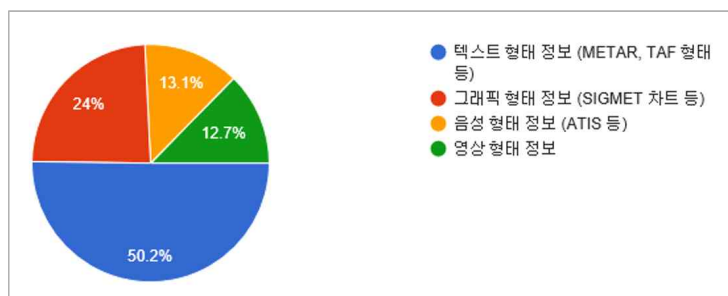
항공기상 제공정보의 정확도(비행 중)

○ 기상 정보의 제공 형태

- 비행 전 또는 비행계획 단계와 비행 중 단계 동일하게 텍스트 형태, 그래픽 형태를 주로 선호하나, 비행 중에는 영상정보 형태보다는 음성정보 형태의 정보제공을 조금 더 선호하는 것으로 분석됨
- 이를 보완하기 위해 CCTV를 활용한 공항기상정보 및 각종 교통관련 기관과 연계한 기상정보시스템 구축, 공항주변을 제외한 지역에서의 기상자료 획득 방안 등이 제안됨



기상 정보의 제공 형태(비행 전)



기상 정보의 제공 형태(비행 중)

- 이를 보완하기 위해 CCTV를 활용한 공항기상정보 및 각종 교통관련 기관과 연계한 기상정보시스템 구축, 공항주변을 제외한 지역에서의 기상자료 획득 방안 등이 제안됨

⑤ 요구도 조사 설문 분석

- 이번 설문조사는 조사 대상 규모가 많지는 않더라도 적극적으로 의견을 제출한 응답자가 많아 서술식으로 문제점을 지적하거나 개선 방안을 제시한 사례가 충분하였음
- 다만, 문장의 형식, 용어의 선택이 다양하여 활용하는 항공기상정보 제공 형태, 항공기상 제공 정보 중 중요하다고 생각되는 정보, 필요한 정보의 정확도에 관하여 중요하다고 생각되는 정보, 제공되는 항공기상 정보의 항목 중 비행 중 높은 정확도가 요구되는 항목, 기상 정보의 인지성, 편리성 등을 향상시키기 위하여 필요한 정보 제공의 형태, 기타로 분류하여 개선 요구사항을 정리함

㉠ 활용하는 기상정보 제공 형태

- 저고도 비행특성 상 휴대폰 활용이 가능하다는 장점을 활용, 비행 전 또는 비행계획단계와 비행 중에도 휴대폰 어플리케이션을 활용하는 비율도 높은 것으로 분석됨
 - 국지적 저고도 세부적인 기상정보 보강요망
 - 기상정보를 통해 우리나라 전지역에서 기상을 정확하게 예측할 수 있는 체계가 개발
 - 기상정보를 업데이트한 시간정보, 작성자의 자격(신뢰도)도 포함
 - 앱을 통한 실시간기상정보
 - 저고도 기상감시의 이착륙 관측실황의 정확성 향상과 활용성 확대
 - 국지기상 및 항로 중간지의 기상파악 용이
 - 실시간 영상정보체계
 - 정보접근의 편의성
 - 지역별 운고 및 시정을 휴대폰으로 확인 가능
 - 조종사 기상정보를 획득하고 접근하는데 용이

㉡ 항공기상 제공 정보 중 중요하다고 생각되는 정보

- 비행 전 또는 비행계획 단계와 비행 중 단계 동일하게 운량/운고 정보를 가장 중요하다고 판단됨

- 기상영상을 통해서 구역 예상 운고 운량 시정이 시현
- 주요한 지점에서 운량 운고 시정이 자동으로 측정되는 장비
- 시정 및 운고 측정을 위한 정확한 측정장비 필요

㉔ 필요한 정보의 정확도에 관한 중요도 판단

- 비행 전 또는 비행계획 단계와 비행 중 단계 동일하게 시간에 대한 정확도, 위치에 대한 정확도가 균등하게 요구됨
- 저고도비행에 대한 기상정보를 지금보다 지역과 시간을 좀더 세분화된 기상정보 제공요망
- 공항주변을 제외한 기타 지역에 대한 기상 자료 획득이 어려운 실정
- 시간, 위치 단위의 정확한 기상정보 필요
- 더 많은 지역에서의 기상정보 제공
- 3시간예보 보다 짧은 1시간예보 정보체계
- 지역에 따른 세분화된 기상정보가 실시간으로 제공
- 향후 4시간 내 기상이라도 보다 정확성 필요
- 강수 강설 시정등의 정확한 예보
- 미세먼지, 해무 등으로인해 지역적 저시정이 나오는 구역정보를 제공

㉕ 제공되는 기상정보 중 높은 정확도가 요구되는 항목

- 비행 전 또는 비행계획 단계와 비행 중 단계 동일하게 시정 정보를 가장 중요하다고 판단됨
- 비행시정의 정확성
- 시정 및 운고 측정을 위한 정확한 측정장비 필요

㉖ 기상 정보의 제공 형태

- 두가지 정보 모두 동일하게 텍스트 형태와 그래픽 형태를 주로 선호하나, 비행중에는 영상정보형태보다는 음성 형태의 정보 제공 형태를 조금 더 선호하는 것으로 분석됨
- CCTV를 이용한 공항기상정보 및 PIREP 기상영상 제공시스템 개발
- 공중 또는 산악상공 지형을 볼수있는 cctv 설치로 실시간으로 직접 기상상태를 확인
- 날씨상태를 직접 눈으로 확인 가능(cctv)

- 저고도 항공기 주요 경로 및 헬기장에 상방향 CCTV 설치
- 다양한 weather chart
- 실시간 텍스트 및 영상체계로 확인할 수 있는 시스템 마련
- 시각적으로 이해하기 쉬운 정보가 필요함
- 각종 교통관련 기관과 연계한 기상정보시스템이 구축
- 여기저기 산재된 정보와 가공되지 않은 정보는 분석하고 활용하는데 많은 시간과 노력이 소요됨에 따라 꼭 필요한 정보를 쉽게 그리고 단순화해서 제공
- 공항주변을 제외한 기타 지역에 대한 기상 자료 획득이 어려운 실정

㉞ 기타

- 해양의 항공기상
- 고고도 풍향속 및 기온, 기압등을 반영한 장거리 항법비행용 기상정보체계 ex) 출항지부터 도착지까지 전 구간별 항로 기상정보 제공 및 기종별 퍼포먼스 계산
- 헬기 조종사에게 필요한 기상 상시 제공
- 이어도 남부 쪽 기상측정 및 예보
- 항로별 파이랩 기능
- 저고도 항공기 데이터 통신을 위한 LTE(또는 5G) 안테나 설치
- 조종사가 확인하기 전에 악기상 등이 공항에 발령되면 자동으로 ACARS 등의 수단을 통해 전송
- PIREP을 활성화

⑥ 설문조사 결과의 시사점

- 설문 결과를 종합해 볼 때 개발되는 기상정보 체계에 요구되는 항목으로는 아래와 같은 것이 필요한 것으로 판단됨
 - 단시간의 예보체계
 - 시정 및 운고 측정을 위한 정확한 측정장비 구축
 - 실시간 텍스트 및 영상체계로 확인할 수 있는 인터랙티브 시스템 마련
 - 국지적 저고도 세부적인 기상정보 보강요망
 - 지역에 따른 세분화된 기상정보의 실시간 제공
 - 정확한 비행시정 등의 제공
 - 이를 위해서는 각종 교통관련 기관과 연계한 기상정보시스템이 구축
 - CCTV를 이용한 공항기상정보 및 PIREP 기상영상 제공시스템 개발

(나) 통신 환경 시험

- 항공기 활용 통신성능 시험은 수행중인 「PAV 등 미래항공서비스의 운항안전을 위한 정보 서비스 모델 연구」 연구(이하 연구)의 범위 중 개발된 기상서비스 모델의 주요 목표 설계 단계에서 필요한 항공기 사용 통신 환경 측정을 위하여 수행함
- 사용자 능동적 실시간 처리를 위한 시스템 설계를 위하여 사전에 확인이 필요한 항목으로 실제 데이터 수집을 위하여 항공기를 활용한 시험을 실시함
- 시험은 지면이 아닌 일정 고도까지의 공중 환경에서 제공되는 데이터 확인을 위한 통신이 가능한지 점검하는 것을 주요 사항으로 함

① 시험장비 - 경량항공기 및 비행장

- 연구에서 활용한 소형항공기는 한국의 항공안전법에 의하여 경량항공기로 구분된 소형항공기로서, 아래와 같은 주요 운항 제한 조건을 가짐
 - 항공기 등급 : 경량항공기
 - 최대이륙중량 : 600kg 이하
 - 운항제한조건 : 주간시계비행
 - 최대상승고도 : 10,000 ft (3 km)
 - 설계상승한도 : 14,000 ft (4.2 km)
 - 기동속도 : 90 kt
- 주요 탑재 장비
 - VHF 통신장비
 - Mode-C 및 ADS-B 1090ES 트랜스폰더
 - GPS 항법 장비
 - 추가로, 본 연구를 위한 GPS 위치기록 장비 탑재하여 비행



CTLS 경량항공기

- 본 연구의 항공기 운항을 위하여 충남 태안에 위치한 한서대학교 태안캠퍼스 비행장을 활용함



태안비행장 전경 및 위치

② 시험장비 - 통신성능 시험용 어플리케이션

- 본 연구에서 제시하는 사용자 능동적 실시간 처리의 의미는 PAV 사용자가 원하는 시점에 기상관련 데이터를 취득할 수 있는 것으로 정의함
- 이는 만약 국내에서 ADS-B UAT 서비스가 시행되는 경우 항공기상에 관한 일반 정도는 ADS-B 서비스가 제공하게 되므로, 저고도 운항 등 특정 조건에서 필요한 데이터의 경우 사용자가 처리된 데이터를 요구하는 형태가 될 것이기 때문임
- 이때 저고도 항공기 운항의 경우, 별도의 데이터 통신망을 사용하지 않고 모바일 데이터 망을 이용하게 되는 경우 인프라 구축이 필요하지 않게 되므로 서비스의 구축이 보다 원활할 것으로 예상되며, 이를 위한 별도의 연구(국토교통부 등)가 시행되고 있음
- 본 연구에서는 이를 위한 실제 통신가능 환경을 확인하고, 이를 개발된 기상서비스 시스템의 설계 조건에 반영하기 위하여 시험을 실시해야 하므로, 아래와 같은 시험 측정 요구조건을 설정함
 - 항공기 위치 기록 (위도, 경도, 고도 등)
 - 데이터 통신망의 통신상태 확인 기록
 - 통신이 정상적인지 확인 기록
 - 특정 조건에 대한 이벤트 기록
- 상기 시험을 위하여 아래와 같은 상세 요구 명세서를 설정하고 개발을 시행함

통신 시험용 어플리케이션 상세 요구 명세서

제목: 셀룰러 네트워크 연결여부 체크 및 로그를 위한 Androidt 앱

* 최초 화면에서

<IP address> 입력란

<시작> 버튼

<종료> 버튼

* <시작>버튼을 누르면

1. 3초 마다 Cellular 네트워크 연결 여부를 테스트

2. 테스트 내용 :

a. Android 제공 cellular data 연결 여부 테스트 함수를 이용하여 Y/N 판단

b. ping <상기 IP address> 등 해서 2초내 성공응답 Y/N

3. 테스트 결과를 Text 로그로 기록

기록 내용: (한줄에 들어갈 내용)

a. 날짜/시간 (yy/mm/dd/hh/mm/ss)

b. 위도 / 경도 / 고도 (도단위 십진수)

c. Test 1 결과

d. Test 2 결과[yy,mm,dd,hh,mm,ss,위도,경도,고도,test1결과(1/0),test2결과(1/0)]

4. <종료> 버튼 누를 때까지 상기 테스트 및 기록(라인생성) 반복

a. 반드시 다른 앱을 열더라도 정지되지 않고 테스트 기록 계속할 것

b. 화면이 꺼지더라도 정지되지 않고 테스트 기록 계속할 것

* <종료> 버튼 누른 후 지금까지 기록된 로그 텍스트를 볼 수 있는 화면을 이동

또는 csv파일(text파일)로 자동 저장 될 것 (파일명 : test_record_날짜시간)

(로그만 보는 화면이 되는 경우) 조회 화면

구성요소 : a. 로그 텍스트 조회 창 (최대 6000 라인 이상; 스크롤 가능)

b. <copy> 버튼

c. <닫기> 버튼

1. <copy> 누르면, 전체 로그 텍스트를 메모리에 복사 (나중에 메일 앱에서 붙여넣기 할 수 있도록)

2. <닫기> 누르면, 초기화면으로 복귀

○ 상기 조건을 만족하는 개발을 완료하여 통신 시험용 어플리케이션을 완성하였으며, 이를 시험에 활용함

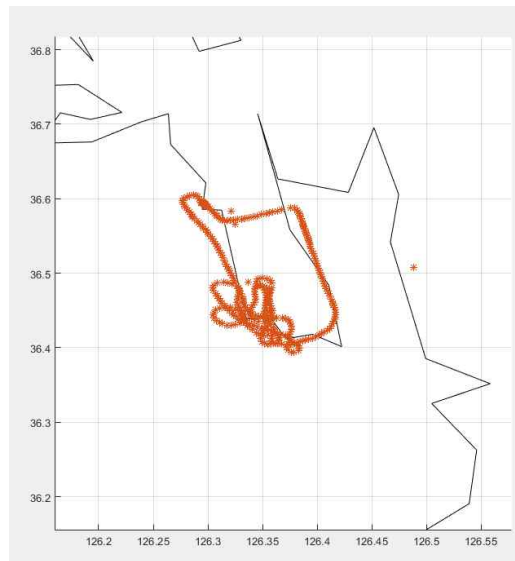
○ 실제 비행시에는 위치 정확도 등의 비교 확인을 위하여 별도의 GPS 수신기를 탑재하여 시험을 실시하고, 결과 비교를 시행함



통신 시험용 어플리케이션

③ 사전 시험 항공기 운항 이력

- 항공기 운항은 사전 시험과 통신 성능 시험 등을 구분하여 수행하였음
- 사전 시험은 2017년 11월부터 12월 중순 경까지 태안비행장 인근에서 수행되었으며, 아래와 같은 목적으로 운항함
 - 항공기 운항 협의 완료 확인
 - 항공기 운항 가능 여부 확인
 - 기록 장비의 동작 확인
 - 고도별 구름 위치 확인
 - 시험용 어플리케이션 동작 확인
- 항공기 운항한 위치 기록 정보는 그림과 같음



항공기 운항 이력

- 항공기 운항 기록 정보의 일부를 발췌한 내용은 표와 같으며, 아래와 같이 시간정보, 위도/경도/고도 등 위치정보, 통신망 사용 정보, 통신 응답 시간, 위치정보 출처 등이 기록됨

항공기 운항 기록 정보

시간	위도	경도	고도	통신망	응답 시간 (ms)	위치데이터 출처
[2017-11-12_16:00:22]	36.59549	126.2939	140	3G	27.9	gps
[2017-11-12_16:00:25]	36.59549	126.2939	140	3G	37	gps
[2017-11-12_16:00:28]	36.59549	126.2939	140	3G	32.8	gps
[2017-11-12_16:00:31]	36.59549	126.2939	140	3G	34.2	gps
[2017-11-12_16:00:34]	36.59549	126.2939	140	3G	28.6	gps

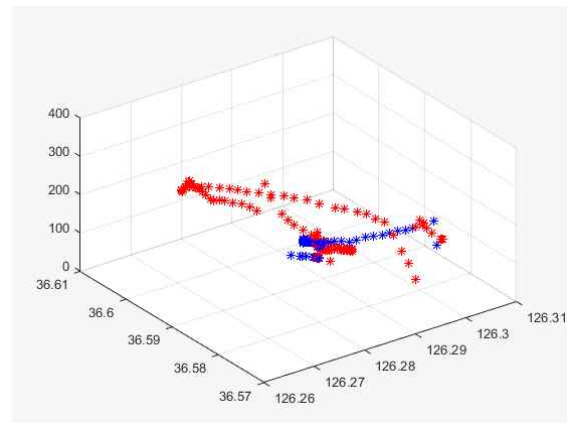
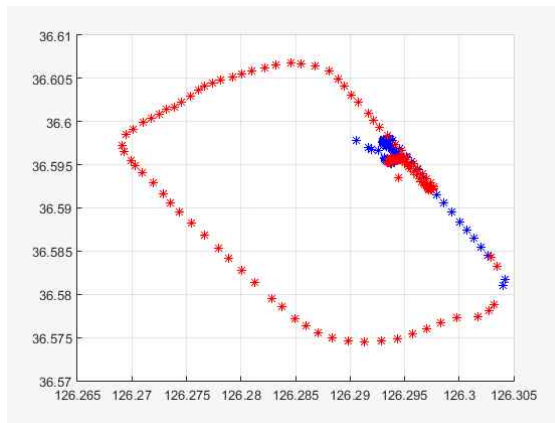
[2017-11-12_16:00:37]	36.59549	126.2939	140	3G	49.5	gps
[2017-11-12_16:00:40]	36.59549	126.2939	140	3G	33	gps
[2017-11-12_16:00:43]	36.59549	126.2939	140	3G	31.6	gps
[2017-11-12_16:00:46]	36.59537	126.2936	0	3G	31.2	net
[2017-11-12_16:00:49]	36.59537	126.2936	0	3G	37.1	net
[2017-11-12_16:00:52]	36.59537	126.2936	0	3G	32.8	net
[2017-11-12_16:00:55]	36.59537	126.2936	0	3G	28.7	net
[2017-11-12_16:00:58]	36.59536	126.2936	0	3G	42.5	net
[2017-11-12_16:01:01]	36.59536	126.2936	0	3G	36.3	net
[2017-11-12_16:01:04]	36.59536	126.2936	0	3G	42.7	net
[2017-11-12_16:01:07]	36.59536	126.2936	0	3G	44.9	net
[2017-11-12_16:01:10]	36.59536	126.2936	0	3G	33.1	net
[2017-11-12_16:01:13]	36.59553	126.2939	129	3G	32.9	gps
[2017-11-12_16:01:16]	36.59553	126.2939	123	3G	33.8	gps
[2017-11-12_16:01:19]	36.59553	126.2939	123	3G	49.3	gps
[2017-11-12_16:01:22]	36.59553	126.2939	117	3G	36.6	gps
[2017-11-12_16:01:25]	36.59538	126.2936	0	3G	29.1	net
[2017-11-12_16:01:28]	36.59538	126.2936	0	3G	41.4	net
[2017-11-12_16:01:31]	36.59538	126.2936	0	3G	57.3	net
[2017-11-12_16:01:34]	36.59538	126.2936	0	3G	48.8	net
[2017-11-12_16:01:37]	36.59538	126.2936	0	3G	50.1	net
[2017-11-12_16:01:40]	36.59538	126.2936	0	3G	48.8	net
[2017-11-12_16:01:43]	36.59538	126.2936	0	3G	38.6	net
[2017-11-12_16:01:46]	36.59538	126.2936	0	3G	43.4	net
[2017-11-12_16:01:49]	36.59538	126.2936	0	3G	43	net

④ 통신 환경시험 내역

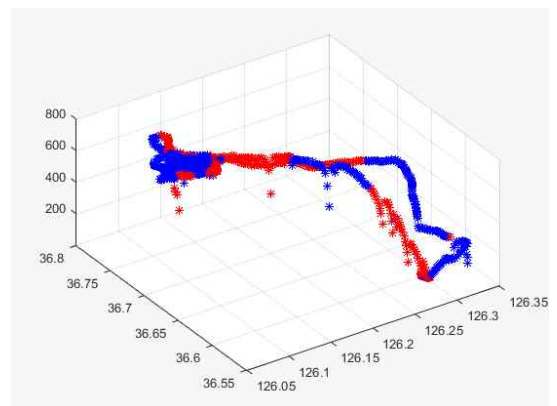
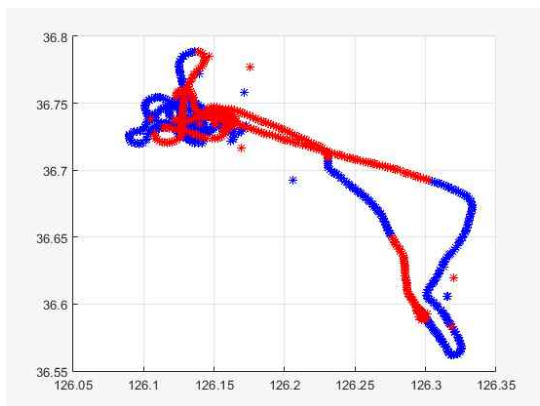
- 통신 환경시험은 2018년 1월~2월에 1차 시험을 실시하고, 연구 종료 단계에서 기능 확인을 위한 추가 시험을 실시하였음
- 통신 환경시험의 주요 시험 목적은 아래와 같음
 - 항공기 운항 가능 여부 확인
 - 저고도 항공 환경에서 통신 가능 여부 확인
 - 항공기 위치 기록 확인
 - 통신 상태 기록 분석
- 통신 환경시험의 한계는 아래와 같음
 - 항공기 고도 및 속도에 따른 데이터 통신 속도는 고려하지 않음
 - 통신 인프라에 따른 통신 성공률 및 통신 속도 등은 고려하지 않음
 - 상기 직접적인 통신 환경은 본 연구에서 계획한 연구 범위에 포함되지 않음

○ 항공기 운항한 위치 기록 정보는 그림과 같음

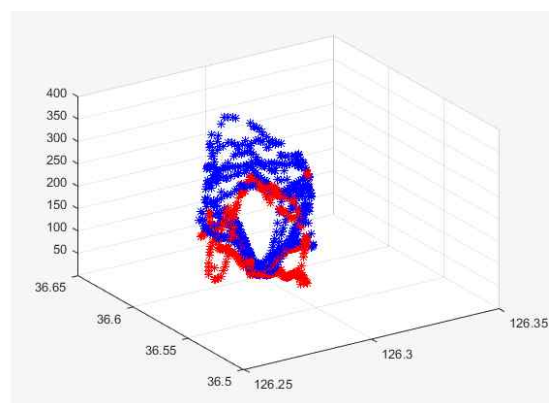
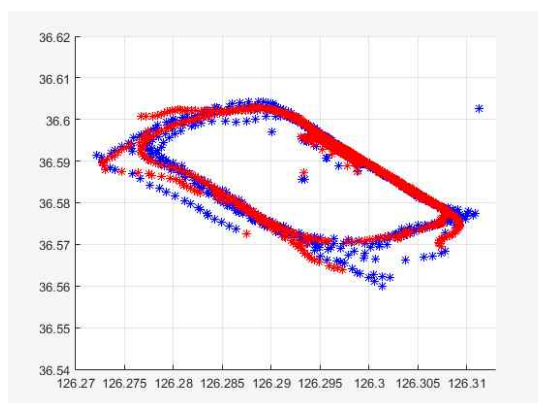
– 2018년 1월 31일 1차 비행



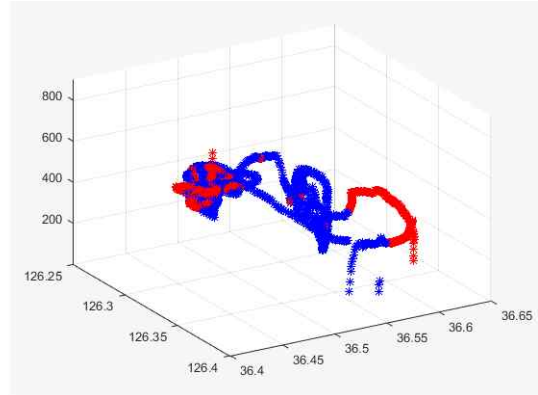
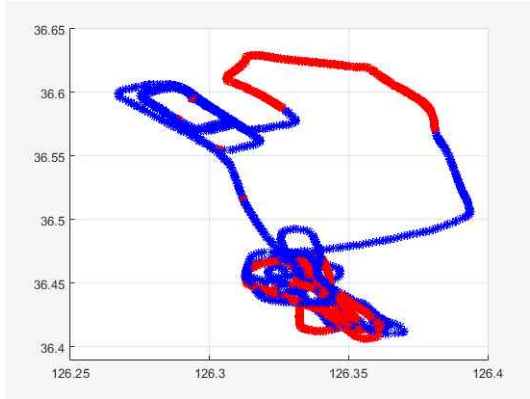
– 2018년 1월 31일 2차 비행



– 2018년 2월 5일 비행



- 2018년 2월 7일 비행



⑤ 시험결과 분석

- 통신 환경 시험은 PAV 등 미래형 항공운항서비스 중 비행계획 단계뿐만 아니라, 비행 중인 공중 환경에서도 운영자가 필요한 데이터를 직접 확인할 수 있도록 하는 것이 가능한지 확인하는 것임
- 따라서 저고도 운항 환경에서 필요한 데이터를 확인할 수 있어야 하며, 국내에서는 현시점에서 가장 현실적인 방안은 모바일 데이터 통신망을 이용하여 실시간 데이터 통신 상태를 유지하는 것이라 할 수 있음
- 본 시험은 상기의 비행 중 적절하게 통신이 유지되는지 확인하는 것이 목적이거나, 전체 비행 시간 중 데이터가 유지될 필요는 없으므로 통신 가능 상태를 유지할 수 있는 상태를 확인할 수 있는 비율로 산출하며 결과는 아래와 같음

구분	데이터 수	연결 성공	연결 실패	성공율
18년 1월 31일 1차 비행	651	228	423	35.0 %
18년 1월 31일 2차 비행	1,610	855	755	53.1 %
18년 2월 5일	2,671	1,677	994	62.8 %
18년 2월 7일	3,434	1,546	1,888	45.0 %
합계	8,366	4,306	4,060	49.0 %

(다) 기본 설계 방향

① 사용자 능동적 실시간 데이터 수집을 위한 항공기상 정보 인프라의 발전 방향

- PAV 운항관리에 필요한 기상정보의 종류는 크게, 수치예보데이터, 실시간 지상관측정보, 실시간 PAV 관측정보, 기상 예보 및 경보의 네 가지로 나눌 수 있음
- 각 기상정보 종류별 특성은 아래 표에 나타난 것과 같이, 데이터의 배포 단계(Flight Planning 단계 또는 Trajectory Negotiation 단계), 배포 방식, 배포의 주체, 정보의 양에서 각기 다른 특성을 가지고 있음

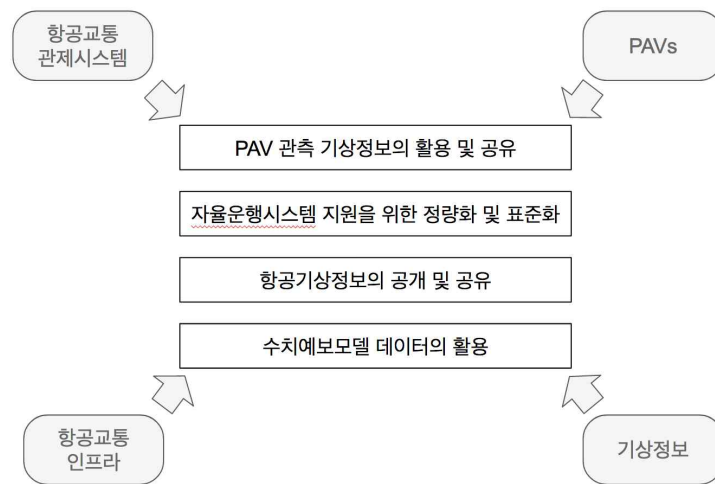
PAV 운항관리에 필요한 기상정보의 종류별 특성

정보의 종류	배포 단계	배포 방식	배포 주체	정보 양
수치예보 데이터	FP	주기적, 1방향	지상, Centralized	대
실시간 지상 관측정보	FP & TN	실시간, 1방향	지상, Centralized	중
실시간 PAV 관측정보	FP & TN	실시간, 쌍방향	Distributed	중
기상 예보/특보/경보	FP & TN	실시간, 1방향	지상, Centralized	소

- 사용자 관점에서 운항 전 Flight Planning 단계와 운항 중 Trajectory Negotiation 단계는 필요한 정보의 내용, 데이터 링크의 상태, 요구사항 측면에서 큰 차이가 있음
- 자율운행시스템 및 항공교통 관제시스템 인프라의 구축은 PAV 대중화를 위한 선결요건 중 하나이다. PAV가 대중화되기 위해서는 일반인도 쉽고 안전하게 이용할 수 있어야하기 때문임
- PAV 자율운행시스템은 기상상황을 실시간으로 정량적으로 분석하고, 자동화된 의사결정 시스템을 통한 지능적 판단이 가능하여야 함. 이 경우, 운항관리사 및 조종사의 판단을 전제로 제공되는 현재의 기상정보 전달체계는 내용 및 형식에 있어서 많은 부분이 달라져야 함
- 특히 PAV의 자율운행시스템에서는 수치예보모델 데이터의 활용도가 증가할 것으로 판단됨. 임의의 출발지점에서 도착지점까지 4차원 공간 (3차원 + 시간)에 대한 정량적이고 균일한 기상현상의 예측값들을 제공함으로써 자동화 시스템의 분석에 적합하기 때문
- 또한 PAV의 트래픽 증가는 기상상황에 대한 실시간 측정의 양과 질을 대폭 향상시킬 수 있음. 자율운행시스템은 자체적인 기상상황 모니터링 및 평가를 할 수 밖에 없고, 각각의 PAV에서 입수한 국지 기상정보는 지상의 통제센터를 통해 수집되고 공유될 수 있기 때문. 대한항공이 기상청과 함께 진행한 AMDAR(Aircraft Meteorological Data Relay) 사업과 같이, PAV들로부터 수집되는 기상정보는 훨씬

적은 비용으로 고품질의 측정값들을 대량으로 수집할 수 있도록 해줌. 최종적으로 이러한 새로운 측정값들은 수치예보모델의 성능을 향상하는 데 기여할 수 있음

- 따라서 PAV 운항관리를 위한 기상정보의 수집 및 배포 인프라가 추구해야 할 기본 방향은, (1) 수치예보모델 데이터의 활용, (2) 항공기상정보의 공개 및 공유, (3) 자율운행시스템 지원을 위한 정량화 및 표준화, 그리고 (4) PAV 관측 기상정보의 활용 및 공유라고 할 수 있음



PAV 미래항공운항서비스를 위한 항공기상정보 인프라의 발전 방향

② 통합기상정보 시스템의 Interactive UI 설계 방향

- 본 연구의 PAV 항공기상 통합기상정보 시스템은, 앞서 서술한 향후 항공기상정보 인프라의 발전 방향들 중 “수치예보모델 데이터의 활용” 및 “항공기상정보의 공개 및 공유”를 위하여 구축되어야 할, PAV 운항 관련자 및 일반 사용자들을 위한 항공기상정보 서비스의 일부
- 통합기상정보 시스템은 수치예보모델 데이터 및 기타 관측된 기상정보와 함께 PAV 운항과 관련된 정보를 통합하여 비교/분석/평가 가능하도록 지원하며, 사전 비행계획 단계와 실시간 운행단계 등 PAV 운항의 모든 단계에서 일반 사용자들이 쉽게 항공기상 정보를 활용할 수 있도록 지원함
- 통합기상정보 시스템에서 활용하고자 하는 항공 관련정보는, (1) 실시간 항공 트래픽 상황, (2) 특정 항공기의 비행계획, (3) 특정 항공기의 실시간 항적 정보 등을 포함

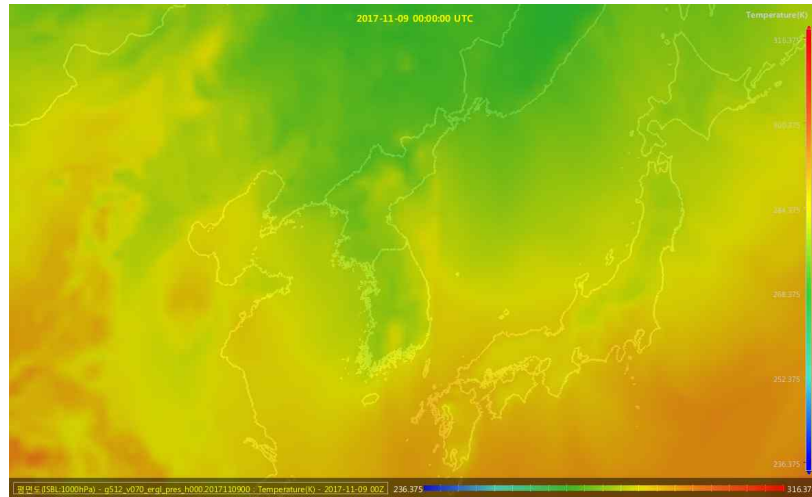
- 통합기상정보 시스템에서 활용하고자 하는 기상 관련정보는, (1) 실시간 지상 관측 데이터, (2) 수치예보모델 데이터, (3) 실시간 PAV 관측 데이터, (4) 기상 예보/경보/특보 등임
- 관련 정보의 내용과 형식들이 다양하고 각 정보의 관리체계도 다르기 때문에, 각각의 정보들은 각자의 서버 및 정보 전달 인프라를 가질 수 있음. 여기서 중요한 것은 서로 다른 정보들이 하나로 통합되어 분석/활용될 수 있는 표준적인 정보조치 체계와 표준화를 갖추어서 하나의 사용자 서비스 안에서 통합됨으로써, 사용자에게 종합적이면서도 일관되고 간편한 서비스 경험을 제공하는 것. 예를 들어 항공지도 정보와 기상정보, 그리고 항공 트래픽 정보는 각기 다른 서버 및 네트워크를 통해 얻어지는 정보들이 될 수 있음. 하지만 이러한 정보들은 하나의 서비스 안에서 통합되어야 함
- 본 연구에서는, 통합기상정보 시스템의 사용자 Client로서 Web 기반의 SPA (Single Page Application)를 선택하였음. (1) 웹 앱 및 모바일 앱으로의 확장성과 함께, (2) 클라이언트 앱의 기능 확장성과 (3) 특정 서버 플랫폼에 대한 종속성을 최소화하기 위한 결과라고 할 수 있음
- 클라이언트 앱과 서버들와의 통신은 기본적으로 JSON 형식을 이용한 REST API를 기본으로 하며, 빠른 처리속도가 요구되거나 대용량 데이터인 경우에는 다른 방식의 API를 보완적으로 사용하도록 표준화 함
- 통합기상정보 사용자 UI의 특징은 다음과 같음. (1) 지도를 기반으로 한 그래픽 사용자 UI, (2) 중첩된 다중 Layer 구조, (3) Interactive 디자인을 통한 직관적 사용, (4) 사용자 및 사용목적에 맞춰 동적으로 customized되는 정보의 내용 및 기능

③ 수치 예보모델 데이터 표출 기법 개발

㉔ 스칼라 장(scalar field)의 color mapped 이미지 표출

- 수치예보모델 데이터 중 스칼라 장에 해당하는 데이터 변수는, 기온, 기압, 습도 등 주어진 격자의 각 지점마다 하나의 연속적인 대표값을 갖는 대부분의 변수들을 포함
- 스칼라 장을 효과적으로 시각화하기 위하여 Color Mapping을 사용하는데, 사용자가 Color Mapping의 색상과 최소/최대 범위를 지정함으로써 특정 범위의 값들에 집중할 수 있도록 구성. 여기서 Color Mapping은 표출하고자 하는 변수의 내용에 따라 기상분야에서 흔히 사용되는 색상표(주제)들 중 하나를 선택하도록 할 수 있음

- 스칼라 장이 다른 정보, 예를 들어 배경이 되는 지도나 다른 기상정보와 함께 중첩 되도록 표현하기 위하여 레이어(Layer)를 사용하여 표출할 필요가 있음
- 하나의 레이어는 한 종류의 기상정보를 포함하며 독자적으로 가시성(visibility) 및 투명도(opacity)를 제어할 수 있음

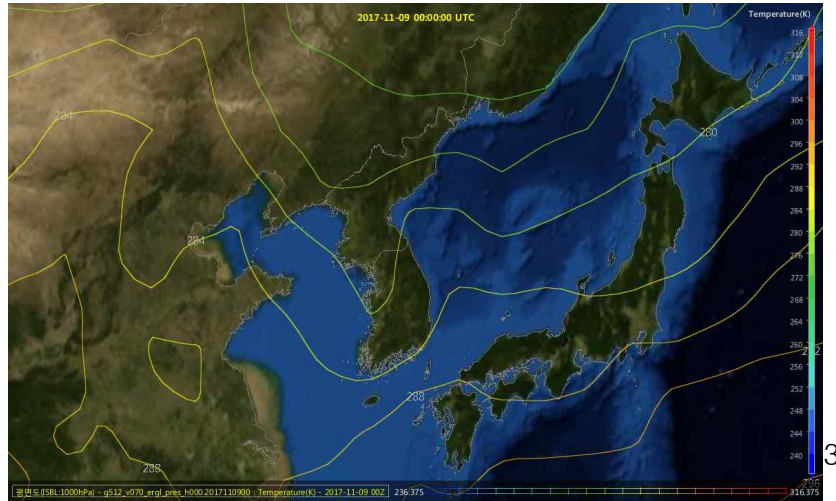


Color Mapping을 이용한 스칼라 장(기온)의 표출

㉠ 스칼라 장(scalar field)의 등고선(contour line) 이미지 표출

- 수치예보모델 데이터 중 스칼라 장에 해당하는 데이터 변수는, 기온, 기압, 습도 등 주어진 격자의 각 지점마다 하나의 연속적인 대표값을 갖는 대부분의 변수들을 포함
- 등고선은 주어진 범위와 간격에 따라 동적으로 자동 계산될 수 있어야 하는데, 등고선을 추출하기 위해서는 모든 인접한 격자들 간의 경계선 상에서 주어진 범위와 간격에 따른 등고선이 해당 경계선을 하나 이상 통과하는지 여부를 먼저 검사하고 내삽(interpolation)을 이용하여 해당 경계선 상에서 해당 등고선의 통과 위치를 정확히 결정한 후, 발견된 등고선 통과 위치들을 선으로 연결함. 이후 line smoothing 알고리즘(예를 들어 Spline Interpolation)을 이용하여 등고선의 변화를 연속적으로 표현
- 스칼라 장을 효과적으로 시각화하기 위하여 Color Mapping을 사용하는데, 등고선의 색상을 Color Mapping에 따라 결정하거나, 등고선 사이의 영역들을 주어진 색상표에 따라 채워 넣을 수 있음. 이 때 사용자는 Color Mapping의 색상과 최소/최대 범위를 지정함으로써 특정 범위의 값들에 집중할 수 있도록 구성. 여기서 Color Mapping은 표출하고자 하는 변수의 내용에 따라 기상분야에서 흔히 사용되는 색상표(주제)들 중 하나를 선택하도록 할 수 있음.

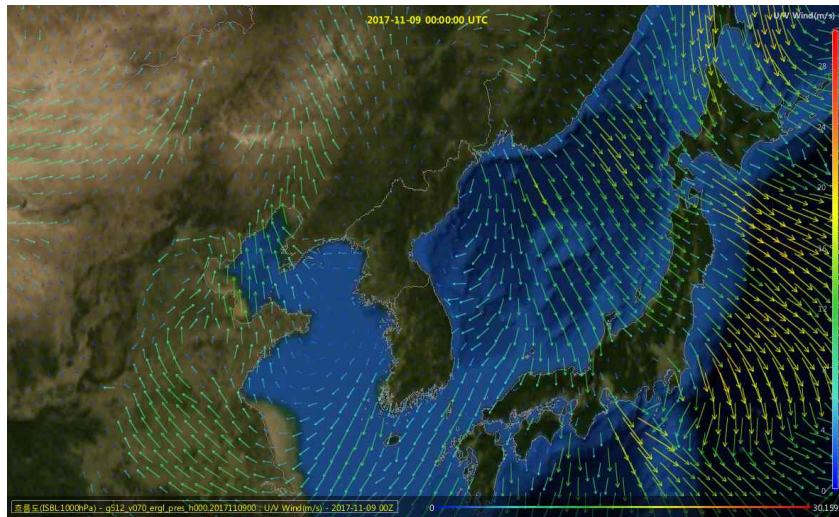
- 스칼라 장이 다른 정보, 예를 들어 배경이 되는 지도나 다른 기상정보와 함께 중첩 되도록 표현하기 위하여 레이어(Layer)를 사용하여 표출할 필요가 있음. 하나의 레이어는 한 종류의 기상정보를 포함하며 독자적으로 가시성(visibility) 및 투명도(opacity)를 제어할 수 있음



등고선(Contour Line)을 이용한 스칼라 장(기온) 표출

㉔ 벡터 장(Vector Field)의 Arrow 격자 형식 표출

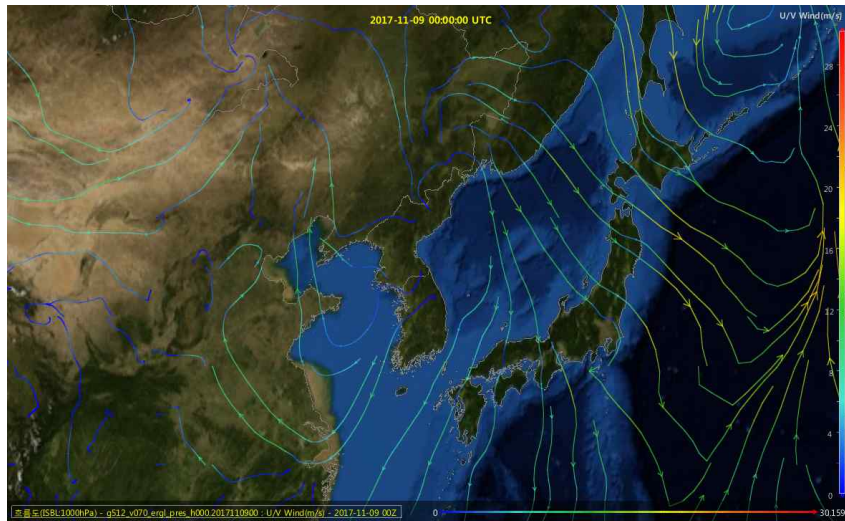
- 수치예보모델 데이터 중 벡터 장에 해당하는 데이터 변수는 바람의 분포로서, 수치예보모델 데이터에서는 동서 방향의 풍속 (u component of wind), 남북 방향의 풍속(v component of wind), 그리고 수직 방향의 풍속으로 표현됨
- 특정 지점에서 바람의 속도(velocity of wind)는 화살표로 표출되는데, 격자 데이터의 분포가 표출하고자 하는 샘플 지점들의 분포와 다른 경우, bilinear 혹은 bicubic interpolation을 이용하여 resampling 과정을 먼저 수행한 후 표출
- 풍속(speed of wind)을 효과적으로 시각화하기 위하여 Color Mapping을 사용하는데, 사용자가 Color Mapping의 색상과 최소/최대 범위를 지정함으로써 특정 범위의 값들에 집중할 수 있도록 구성. 여기서 Color Mapping은 표출하고자 하는 변수의 내용에 따라 기상분야에서 흔히 사용되는 색상표(주제)들 중 하나를 선택하도록 할 수 있음
- 벡터 장이 다른 정보, 예를 들어 배경이 되는 지도나 다른 기상정보와 함께 중첩 되도록 표현하기 위하여 레이어(Layer)를 사용하여 표출할 필요가 있음. 하나의 레이어는 한 종류의 기상정보를 포함하며 독자적으로 가시성(visibility) 및 투명도(opacity)를 제어할 수 있음



화살표(Arrow)를 이용한 벡터 장(바람)의 표출

㉔ 벡터 장(Vector Field)의 유선도(Streamline) 형식 표출

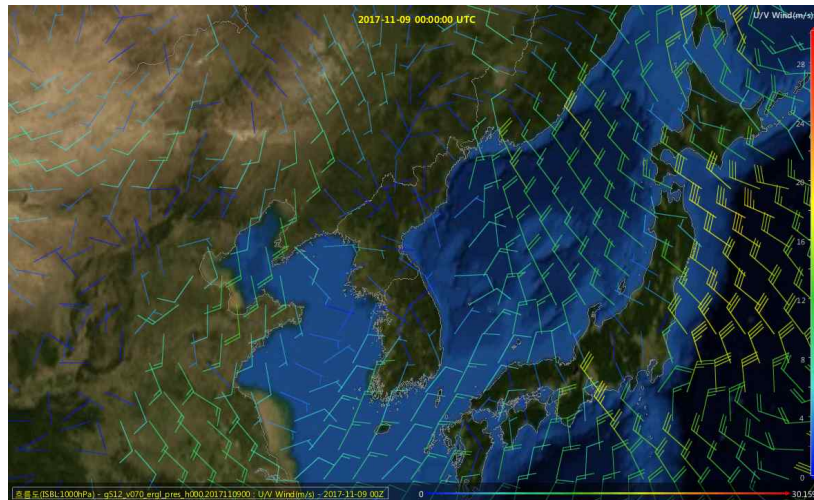
- 수치예보모델 데이터 중 벡터 장에 해당하는 데이터 변수는 바람의 분포로서, 수치예보모델 데이터에서는 동서 방향의 풍속 (u component of wind), 남북 방향의 풍속(v component of wind), 그리고 수직 방향의 풍속으로 표현됨
- 바람 유선(streamline)들은 앞서 설명한 스칼라 장에서의 등고선 추출과 유사한 방식으로 추출하는데, 먼저 인접한 격자들 간의 경계선에서 유선과 해당 경계선과의 교차점을 계산한 후, 그 교차점들을 연결하는 방식으로 추출. 다만 등고선과 달리 유선들 간의 적절한 분포를 유지하기 위하여 중간에 유선이 생성되거나 소멸하는 것도 가능함
- 풍속(speed of wind)을 효과적으로 시각화하기 위하여 Color Mapping을 사용하는데, 사용자가 Color Mapping의 색상과 최소/최대 범위를 지정함으로써 특정 범위의 값들에 집중할 수 있도록 구성. 여기서 Color Mapping은 표출하고자 하는 변수의 내용에 따라 기상분야에서 흔히 사용되는 색상표(주제)들 중 하나를 선택하도록 할 수 있음
- 벡터 장이 다른 정보, 예를 들어 배경이 되는 지도나 다른 기상정보와 함께 중첩되도록 표현하기 위하여 레이어(Layer)를 사용하여 표출할 필요가 있음. 하나의 레이어는 한 종류의 기상정보를 포함하며 독자적으로 가시성(visibility) 및 투명도(opacity)를 제어할 수 있음



유선도(Streamline)를 이용한 벡터 장(바람)의 표출

㉮ 바람 장(Wind Vector Field)의 Wind Barb 형식 표출

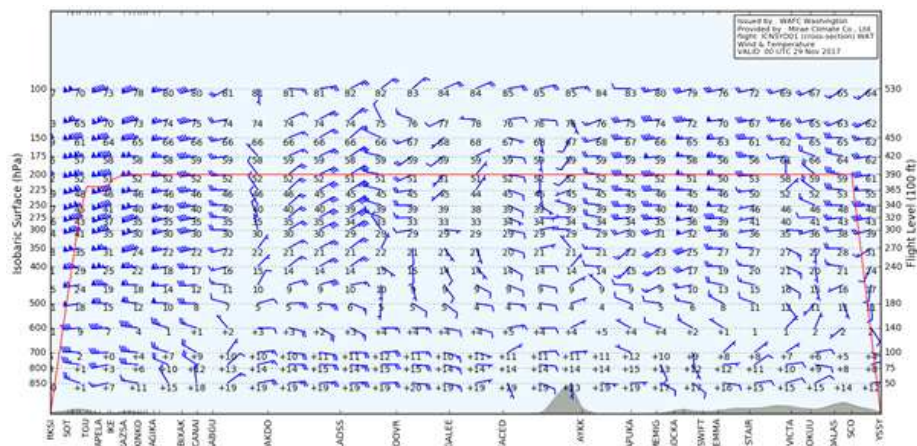
- 수치예보모델 데이터 중 벡터 장에 해당하는 데이터 변수는 바람의 분포로서, 수치예보모델 데이터에서는 동서 방향의 풍속 (u component of wind), 남북 방향의 풍속(v component of wind), 그리고 수직 방향의 풍속으로 표현됨
- 특정 지점에서 바람의 속도(velocity of wind)는 바람 깃(wind barb)으로 표출되는데, 이 때 바람 깃의 방향은 풍향을, 바람 깃 날개의 종류 및 수량은 풍속을 의미함. 또한 격자 데이터의 분포가 표출하고자 하는 샘플 지점들의 분포와 다른 경우, bilinear 혹은 bicubic interpolation을 이용하여 resampling 과정을 먼저 수행한 후 표출
- 풍속(speed of wind)을 효과적으로 시각화하기 위하여 Color Mapping을 사용하는데, 사용자가 Color Mapping의 색상과 최소/최대 범위를 지정함으로써 특정 범위의 값들에 집중할 수 있도록 구성. 여기서 Color Mapping은 표출하고자 하는 변수의 내용에 따라 기상분야에서 흔히 사용되는 색상표(주제)들 중 하나를 선택하도록 할 수 있음
- 벡터 장이 다른 정보, 예를 들어 배경이 되는 지도나 다른 기상정보와 함께 중첩되도록 표현하기 위하여 레이어(Layer)를 사용하여 표출할 필요가 있음. 하나의 레이어는 한 종류의 기상정보를 포함하며 독자적으로 가시성(visibility) 및 투명도(opacity)를 제어할 수 있음



바람깃(Wind Barb)을 이용한 벡터 장(바람)의 표출

㉞ 항로 상 연직단면도 표출

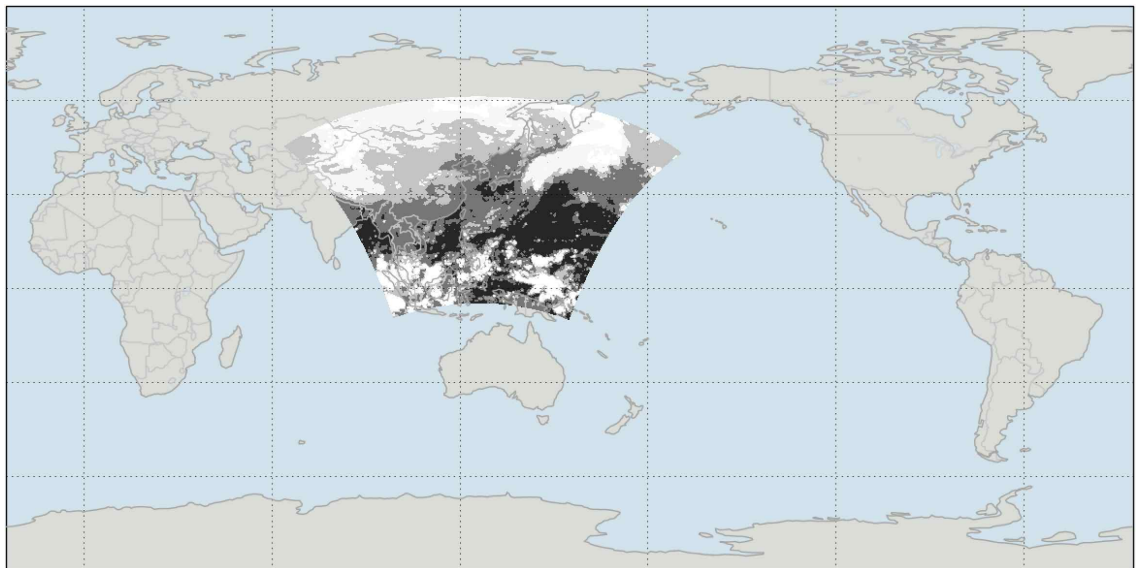
- 특정 비행경로 상에서 고도의 변화에 따른 기상현상의 변화를 보다 직관적이고 간편하게 파악하기 위하여, 연직단면도를 사용함
- 특정 비행경로에 대한 연직단면도는 스칼라 장 및 벡터 장 모두에 공통적으로 적용될 수 있음
- 필요한 경우, 비행경로 상의 지표고도를 추출하여 연직단면도에 함께 표출함으로써, 사용자가 비행경로 상의 위치와 기상 현상의 발생위치를 보다 더 직관적으로 파악하도록 도울 수 있음



특정 비행항로에 대한 벡터 장(바람)의 연직단면도

② 위성 데이터의 표출

- 한국 기상청의 위성데이터는 바이너리 형식과 이미지 형식 두 가지 형태로 제공되며, MODIS 합성영상, NOAA 기본영상/분석영상/기본이진 정보, 그리고 COMS의 기본이진/기본영상 등을 포함
- 천리안 위성 (COMS; Communication, Ocean and Meteorological Satellite)은 지구적도상공 36,000km 고도, 동경 128.2도에 위치하여 기상관측, 해양관측 및 통신서비스 임무를 수행하는 우리나라 최초의 정지궤도 복합위성. COMS 위성 발사 이전에는 일본 등 외국기상위성 자료를 30분 간격으로 수신하였으나, 독자기상위성 운영을 통해 10분 간격으로 한반도 부근지역을 관측하고 위험기상을 집중 감시할 수 있는 능력을 갖추게 되었음
- COMS 데이터는 국가기상위성센터에서 생산하는데, 아시아 또는 한반도 영역에 대하여 5개 채널 - 가시(VIS), 적외1(IR1), 적외2(IR2), 수증기(WV), 단파적외(SWIR) -자료가 약 10분 간격으로 주기적으로 생성되어 배포됨
- 위성 영상이 다른 정보, 예를 들어 배경이 되는 지도나 다른 기상정보와 함께 중첩되도록 표현하기 위하여 레이어(Layer)를 사용하여 표출할 필요가 있음. 하나의 레이어는 한 종류의 기상정보를 포함하며 독자적으로 가시성(visibility) 및 투명도(opacity)를 제어할 수 있음

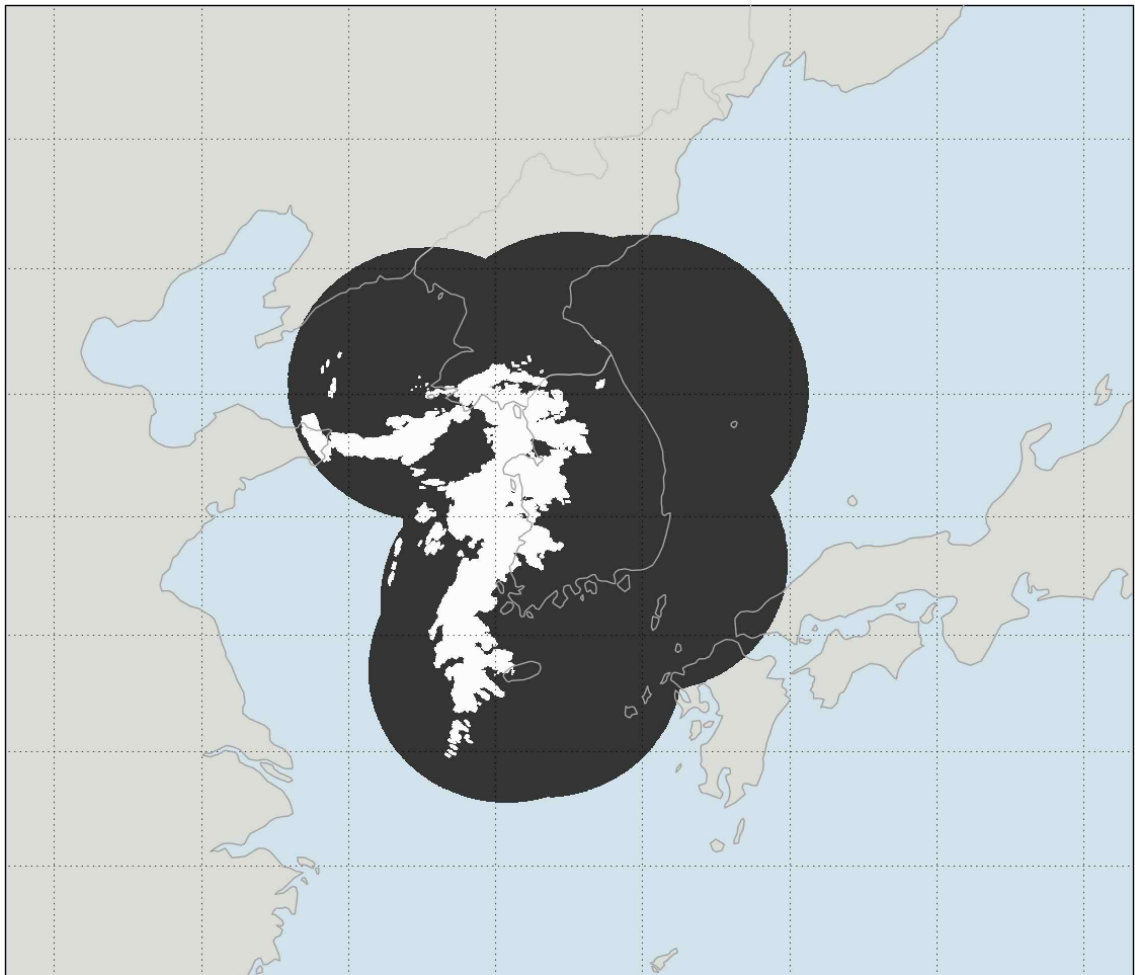


COMS 위성 이진 자료(한반도, IR1)의 표출 (with Lamber Conformal Projection)

③ 레이더 데이터의 표출

- 레이더 자료는 각 관측소별 또는 통합된 영상이 이진 데이터 또는 이미지 형식으로 10분 간격으로 주기적으로 생성되어 전달됨

- 기상청에서 제공되는 레이더 영상은 BRI(백령도), GDK(광덕산), GSN(고산), KSN(오성산), IIA(인천공항), JNI(진도), KWK(관악산), MYN(면봉산), PSN(구덕산), SSP(성산), GNG(강릉) 총 11개 관측소의 자료들로 구성됨
- 레이더 영상이 다른 정보, 예를 들어 배경이 되는 지도나 다른 기상정보와 함께 중첩되도록 표현하기 위하여 레이어(Layer)를 사용하여 표출할 필요가 있음. 하나의 레이어는 한 종류의 기상정보를 포함하며 독자적으로 가시성(visibility) 및 투명도(opacity)를 제어할 수 있음



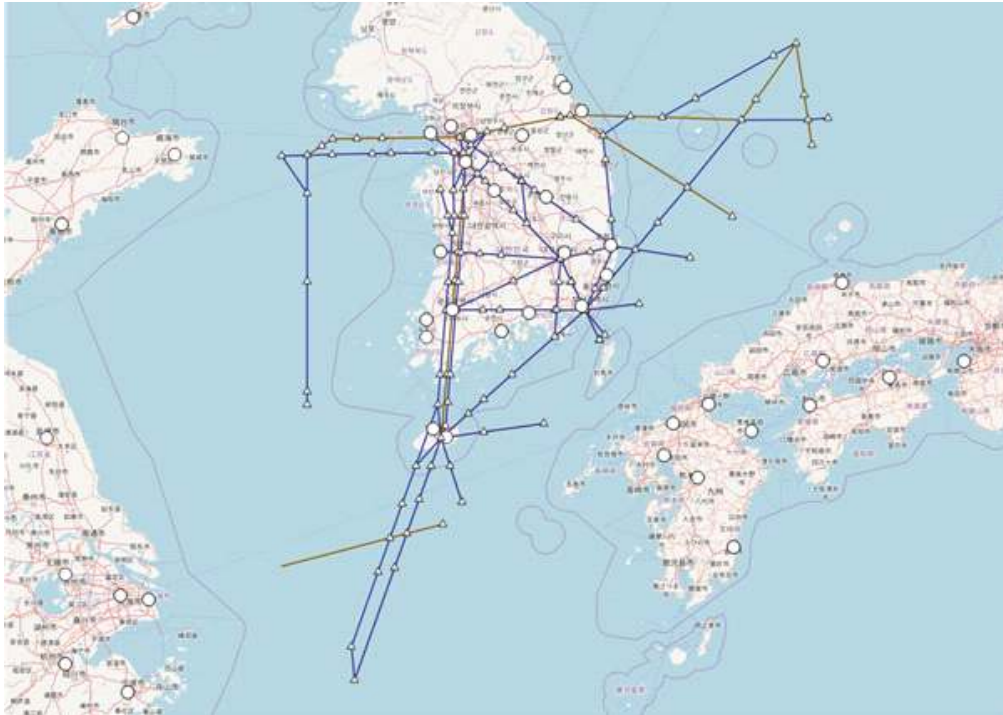
통합 레이더 영상의 표출 (Color Mapping 사용하지 않음)

④ 항공기상 데이터의 표출

㉠ 항공지도/비행항로의 표출

- 한국 비행구역 내의 항공지도는 항공정보간행물(AIP; Aeronautical Information Publication)의 텍스트를 자동 처리하여 aerodrome 및 waypoint들 및 항로정보를 추출함으로써 항공지도정보 데이터베이스를 구축하였음

- 시험 개발을 위해 데이터베이스로 구현된 항공지도 정보는 Aerodrom, waypoint, route를 포함하는데, 저고도 PAV의 운항관리를 위해서는 비행금지구역, VFR 및 IFR 관련정보 등 En-route 차트 정보가 통합될 필요가 있음



대한민국 비행정보구역(RKRR) 내 Aerodrome, waypoint 및 route

㉞ METAR/TAF 정보의 표출

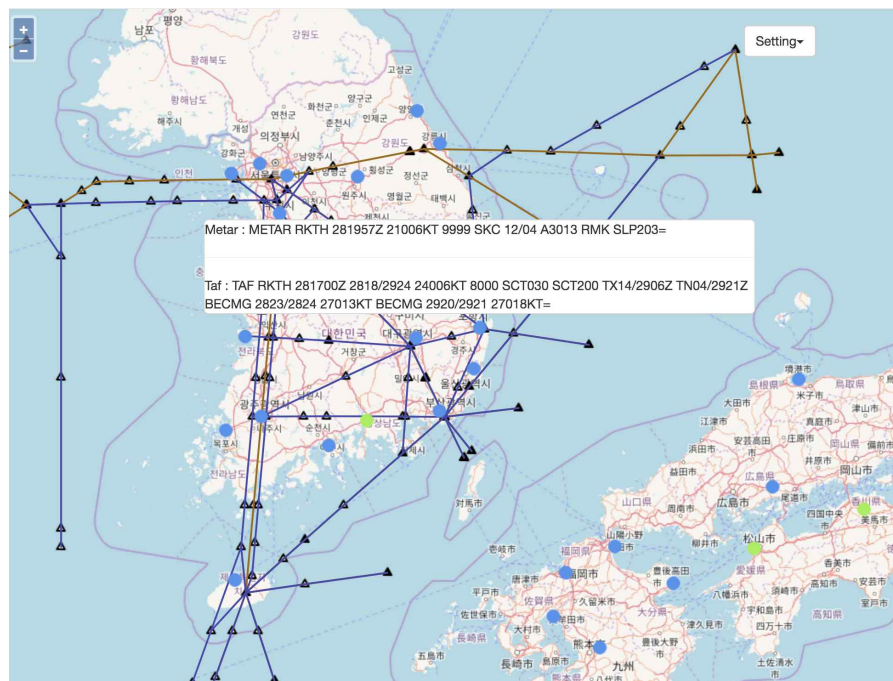
- 기상청에서 배포하는 항공기상정보는 FTP 방식으로 민간 기상사업자에게 전달되는데, 해당 데이터 파일들에 포함된 텍스트를 실시간 처리함으로써 각 공항 및 관측지점들에 대한 METAR/TAF 정보를 데이터베이스화 할 수 있음
- 해외 공항의 경우, WIFS (WAFS (World Area Forecast System) Internet File Service)의 일부로서, 허가된 기관 및 기상사업자에 대하여 전세계 공항의 METAR/TAF 정보를 제공하고 있음. WIFS의 METAR/TAF 정보에는 국내 공항 중 국제공항이 포함되며, 내용은 동일함

METAR/TAF	SIGWX	WINTER	Turbulence	Icing	CB cloud	Satellite	Radar	WeatherFolder
Departing Airport (RKSI) METAR RKSI 290430Z 33014KT CAVOK 03/M14 Q1027 NOSIG= METAR RKSI 290400Z 32012KT CAVOK 03/M12 Q1027 NOSIG= METAR RKSI 290330Z 32012KT CAVOK 03/M11 Q1027 NOSIG= METAR RKSI 290300Z 32014KT CAVOK 03/M09 Q1028 NOSIG= METAR RKSI 290230Z 33011KT 300V360 CAVOK 03/M08 Q1028 NOSIG= TAF RKSI 282300Z 2900/3006 35015G25KT CAVOK TX02/2906Z TNM04/2921Z TX02/3006Z BECMG 2906/2907 35010KT BECMG 2921/2922 35015G25KT BECMG 3004/3005 35010KT=								
Arriving Airport (YSSY) METAR YSSY 290430Z 11011KT 9999 BKN022 BKN250 26/19 Q1018 NOSIG= METAR YSSY 290400Z 11011KT 9999 BKN035 BKN250 25/19 Q1018 NOSIG= METAR YSSY 290330Z 11013KT 9999 BKN020 26/19 Q1018 NOSIG= METAR YSSY 290300Z 12013KT 9999 BKN022 BKN250 25/19 Q1018 NOSIG= METAR YSSY 290300Z NIL= METAR YSSY 290230Z 11011KT 9999 BKN025 BKN250 25/19 Q1019 NOSIG= TAF YSSY 282329Z 2900/3006 11015KT 9999 SCT025 SCT035 FM290800 08008KT 9999 -SHRA BKN020 FM292300 06012KT 9999 SCT030=								

출발(RKSI)/도착(YSSY) 공항에 대한 METAR/TAF 정보의 표출

㉔ 공항상태 감시

- METAR 및 AMOS의 자동관측정보는 일정한 규칙에 따라 서술된 텍스트 파일의 형태로 제공되므로, 구체적인 기상요소별 값들을 추출함으로써, 각 관측지점에 대한 기상정보를 실시간으로 모니터링하는 자동 감시시스템을 구축하는 것도 가능. 우측 이미지에서는 각 공항들의 기상상태를 녹색(양호), 청색(보통), 주황(경고), 적색(위험)으로 표현한 것임



METAR/TAF에 기반한 공항상태의 시각적 표출

(4) 미래형 기상 서비스 방안 및 기능 개발

(가) 미래 항공운항환경에서의 기상정보의 활용

민간 항공기상 서비스

- PAV 등 미래형 항공서비스에서는 누구라도 운용 가능하도록 자율비행기술 및 운항 통제/지원 시스템이 발전할 것
- 따라서 미래형 항공운항에 필요한 통합기상정보서비스 또한, 비전문가인 일반인도 쉽게 사용할 수 있어야 함
- 또한 기상정보를 사용자가 직접 평가하는 것이 아니라, 자동화된 시스템이 수집/가공/처리하여 사용자의 의사결정을 지원할 수 있어야 함
- 결국 미래의 운항환경에서 기상정보는 대중화 및 자동화를 염두에 두고, 기상정보의 내용 및 형식을 재구성할 필요가 있음
- 기상정보 관측채널 및 관측데이터량이 증가

② 미래 운항환경에서 기상정보의 활용방안

- 현재 기상정보가 활용되고 있는 방식은, 운영자의 이해를 돕기위하여 또는 전문 기상인력의 분석을 전제로 구성되어, 정량적(quantitative)·연속적(continuous) 정보 보다는 정성적(qualitative)·이산적(discrete) 정보의 형태이며, 정보의 해상도와 발생 빈도에 있어서도 다운샘플(down-sample)된 경구가 많기 때문
- 예를 들면 항공분야에서 사용되는 세계공역예보를 활용하는 경우 전통적으로 기상예보사들이 일정 기준(threshold)를 적용하여 지도 위에 다양한 기상현상들을 표현한 SigWx 차트를 기본으로 사용하여 왔음
- 하지만 수치예보모델의 발전과 컴퓨터 시스템 및 네트워크의 발전에 따라, 세계공역예보의 형태는 2010년 이후 SigWx차트 형식에서, 전세계의 기상현상을 정규 격자(uniform grid)로 샘플링된 스칼라장(scalar field) 또는 벡터장(vector field)으로 표현하는 GRIB 데이터형식으로 변화하고 있는데, 이는 정규 격자 샘플들로 연속적인 공간을 직접 묘사하는 것이 자동화된 시스템에서 보다 정확한 분석 및 평가를 하는 데 더 유리하기 때문. 이러한 경향은 거의 모든 종류의 기상정보의 생산에서 공통적으로 적용되고 있는 형태이며, 미래의 운항시스템에 필요한 정보의 반영도 이러한 것이 필요함
- 다만 모든 종류의 기상정보들이 일관되고 통일된 분석 및 평가체계로 일원화될 수 있는 것은 아니며, 향후 서로 다른 종류의 기상정보들을 통합하는 것이 중요한 문제가 될 것임. 예를 들면, 태풍의 영향을 분석하여 특정 운항계획의 비용과 위험을

평가하기 위해서는, 운항계획의 경로를 기반으로 수치예보정보와 함께 태풍의 관측 정보 및 예상경로 등을 유기적으로 통합하여 분석하여야 함

- 항공운항에 필요한 기상정보의 활용에 있어서 고려해야할 정보의 통합은 크게 나누어, 첫번째로 각 국의 기관 등, 다양한 기상정보 출처들 간의 생성 정보 통합, 두번째로 관측 정보와 예측 정보 등, 서로 다른 기상 정보들의 통합, 마지막으로 항공운항정보와 기상 정보의 통합으로 나눌 수 있음
- 그리고 이렇게 통합된 기상 정보는 첫번째로 비행 전 계획단계, 두번째로 실시간 운항감시 단계, 마지막으로 비행 후 평가단계에서 각 단계의 목적에 맞는 다른 방식으로 활용될 수 있음
- 이를 위해서는 기상정보들이 수집되고 비교 분석될 수 있는 하나의 플랫폼을 갖추는 것이 중요
- 서로 다른 종류의 항공기들은 각자의 요구사항과 비행패턴과 제약조건들을 가지고 있지만, 통합된 기상정보서비스는 각자의 요구에 맞는 맞춤형 정보 및 분석을 위한 공통된 플랫폼을 제공할 수 있음
- 미래의 운항환경을 위한 통합기상정보시스템에서 중요한 요소 중 다른 하나는, 해당 시스템이 기본적인 기간 인프라로서 정보의 수집과 공유가 가능한 네트워크의 역할을 수행할 수 있어야 한다는 점. 현재 수치예보모델은 지표면이 아닌 고도별 관측 값의 절대적인 부족으로 기상상황의 예측에 한계를 가질 수 밖에 없는데, PAV등 항공기에 탑재된 센서들을 이용한 기상정보의 수집 네트워크의 구축은 이러한 문제를 해결할 수 있는 해결책들 중 하나가 될 것임. 또한 기상정보의 공유를 통해, 기상정보 네트워크는 관측의 정확성을 높이고 개별 항공기를 위한 분석 및 평가결과의 품질을 향상시킬 수 있음

(나) 통합모델 자료의 수집 분석 및 처리 방안

- 수치예보(Numerical Weather Prediction)은 기온, 습도, 바람과 같은 기상요소의 시간변화와 현상을 물리방정식들로 표현하여 수치예보모델을 만들고, 전세계적인 관측자료들을 입력하여 수시간에서 수백년까지 미래의 대기상태를 예측하는 과정
- 수치예보의 단계는 첫번째로 전세계에서 관측한 다양한 종류의 관측자료를 수치모델에 입력하여 수치모델의 각 격자점에서 최상의 초기 추정치를 구하는 전처리과정(자료동화), 두번째로 수치모델의 현재 대기상태로부터 물리방정식들을 이용하여 미래의 날씨를 예측하는 수치모델 시뮬레이션 과정, 마지막으로 수치모델이 생산한 미래의 대기상태 예측자료들로부터 일기도 및 예보자료를 생산하는 후처리과정으로 구성됨

- 현재 한국 기상청에서 사용되는 수치예보모델은 영국기상청에서 개발한 통합모델(Unified Model)로서, 전지구 예측모델(GDAPS)과 동아시아 지역을 대상으로 하는 지역모델(RDAPS) 그리고 한반도를 대상으로 하는 국지 예보모델(LDAPS)이 있음
- 한반도 내 저고도 PAV의 항공기상 서비스에 적합한 분해능을 가진 국지예보모델(LDAPS)의 수평분해능은 1.5km이고, 수직분해능은 지상으로부터 약 40km까지 70개 층을 가지며, 3 시간 간격으로 최대 36시간 후 까지를 예측하는데, 매일 4회 예측데이터를 생성하고 있음
- 한국 기상청의 수치예보모델 데이터는 한국기상산업기술원을 통하여 민간 기상정보 사업자들에게 FTP push 방식으로 배포
- 본 연구에서는, 통합기상정보서비스의 구현을 위하여 한국기상산업기술원으로부터 기상정보를 수집하기 위한 FTP서버를 설치하고 실시간으로 정보를 수집하고 있음
- 한국기상산업기술원이 2018년 12월 현재 제공하는 데이터의 종류는 아래 표와 같음

한국기상청 생산하여 기상산업기술원이 제공하고 있는 기상정보의 종류

구분	내용
기본자료	초단기 / 단기 / 중기 / 장기 예보
	기상 특 / 정보
	상황기상정보
	지진관련자료
	날씨 동영상
기상관측자료	지상기상 관측자료
	고층기상 관측자료
	해상기상 관측자료
	세계기상통신망(GTS) 전문자료
국지기상관측자료	자동기상관측(AWS)자료
항공기상자료	항공기상 관측자료
	항공기상 예보자료
	항공기상 특보자료
수치자료	전지구 / 앙상블모델 격자 자료
	지역 / 국지모델 격자 자료
	초단기모델 격자 자료
	응용모델 격자 자료
	수치모델 그래픽 자료
위성자료	기상위성자료
레이더자료	기상레이더자료
낙뢰자료	낙뢰관측자료

(다) 국지모델, 지역모델 자료의 해석 및 처리 방안

- 2018년 12월 현재, 한국 기상청의 예보모델은 전지구예측모델(GDAPS), 지역예보모델(RDAPS), 국지예보모델(LDAPS) 세가지 모델로 구성됨

전지구/지역/국지 예보모델의 비교

	수평격자	연직격자	최대고도	예측간격	예측기간	예측주기	포함범위
전지구예측모델(GDAPS)	17km	70층	80km	3시간	10일	6시간마다	전세계
지역예보모델(RDAPS)	12km	70층	80km	3시간	3일	6시간마다	동아시아
국지예보모델(LDAPS)	1.5km	70층	40km	3시간	36시간	6시간마다	한반도 주변

- 2019년 3월 말부터 전지구예측모델(GDAPS)이 수평격자 해상도를 10km로 운영하며 동시에 지역예보모델(RDAPS)의 운영이 중단될 예정임. 따라서, 본 연구에서는 전지구예측모델(GDAPS)과 국지예보모델(LDAPS)만을 고려하여 기상정보를 처리/가공하고 통합기상정보시스템에 활용함
- 한국 기상청의 국지 예보모델(LDAPS)의 기상요소들은, 593(동서)×781(남북)의 수평격자(동서방향 : 121.798 E부터 1.5km 간격, 남북방향 : 32.84242 N부터 1.5km 간격)로 구성되어있고, 1000hPa에서 10hPa까지 24개의 등압면에서 총 7개의 변수들(풍향/풍속, Geopotential Height, 온도, 습도 등), 그리고 단일면/토양면에서 총 78개의 변수들(강수, 표면온도, 표면기압, 표면 풍향/풍속, 시정, 안개, 이슬점, 최대풍속, 운량/운고 등)을 제공
- 전지구예보모델(GDAPS)과 국지예보모델(LDAPS)의 가장 큰 차이점은 해당 모델이 다루는 지역의 범위로서, 전지구모델이 전 세계를 그 범위로 하는 반면, 국지모델은 한반도와 주변국(중국 및 일본) 영토의 일부만을 포함하여 더 높은 공간적/시간적 해상도의 정보를 생산
- 이렇게 고해상도와 저해상도의 데이터를 사용자 관점에서 쉽고 편리하게 활용할 수 있기 위해서는, 사용자가 직접 원하는 데이터 종류를 선택하도록 강제하는 것보다, 사용자 관심지역의 스케일이나 이용목적에 맞도록 자동으로 선택하여 정보를 가공/처리해주는 자동화가 필요
- 본 연구의 통합기상정보서비스에서는, 사용자의 확대/축소 레벨(zoom level)에 맞추어 일정 기준 이상의 zoom level에서는 자동으로 국지예보모델 데이터를 선택하여 표출함으로써, 사용자 편의성을 높일 필요가 있음. 또한 지정된 경로상의 기상정보를 추출하는 경우에는, 그 경로가 국지예보모델의 지역범위를 벗어나는지를 판단하는 것과 함께, 해당 경로의 총 길이를 일정 기준으로 평가하여, 만약 해당 경

로가 상대적으로 짧은 지역적 스케일인 경우에는 국지예보모델의 데이터를 사용하고, 그외의 경우에는 전지구모델의 데이터를 사용하도록 자동화할 필요가 있음

- 추가로 통합기상정보서비스의 3차원 표출시스템은, 예측모델이 전지구모델인지 국지모델인지 여부에 상관없이 주어진 조건에 따라 자동으로 적응하여 작동하도록 설계/구현하여, 시스템의 성능과 효율성을 높이는 것이 바람직

(라) 실시간 통합기상정보서비스 방안

항공운항 및 기상정보의 실시간 3차원 공간에서 통합

- 항공운항정보에서 빠질 수 없는 요소는 고도로서, 운항정보와 고도별 기상 모두 3차원 표출이 필수적
- 또한 실시간 운항정보 및 기상정보가 효율적으로 표출되고 업데이트 되어야 함. 더불어 과거 운항기록 및 과거 기상상태의 변화, 그리고 향후 비행경로 및 기상예측 정보와 같이 과거 및 미래를 넘나드는 정보의 통합이 필요함
- 3차원 공간 및 시간변화에 따라 대용량 정보들이 효율적으로 전달되고 빠르게 처리되어 표출될 수 있는 강력한 성능의 플랫폼이 필요
- 또한 3차원 공간에서의 항공운항정보 및 기상정보의 통합은 사용자의 직관적 이해를 돕고 사용 편의성을 높일 수 있음

② 통합된 기상정보의 종류 및 내용

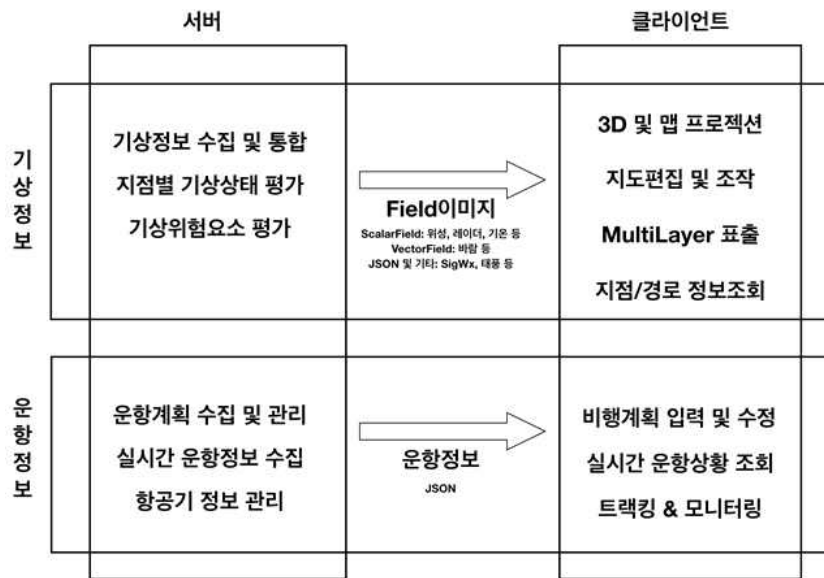
- 모든 기상정보는 사용자가 직관적으로 이해할 수 있도록 그래픽 이미지와 차트 등을 이용하여 3차원 공간 안에 직접 표출
- SIGMET 또는 태풍정보와 같이 추가적인 정보가 필요한 경우에는 툴팁이나 상세정보 화면 등 UI 요소들을 활용.
- METAR/TAF는 실시간으로 수집된 정보를 자동으로 처리하여, 사전에 지정된 조건에 따라 공항별 기상상태를 자동 평가함으로써, 지정된 색상을 통해 지점별 기상상태가 한 눈에 파악될 수 있도록 개발
- 본 연구의 설계 및 구현단계에서 통합된 기상정보의 종류 및 내용은 표 같음

List of weather information types for the prototype service

기상정보 종류	기상정보 내용	정보 출처	그래픽 표출방식
위성 관측정보	적외, 근적외, 수증기, 가시채널 등	국가별 기상청	color mapped raster
레이더 관측정보	강수율	국가별 기상청	color mapped raster
수치예보정보	기온, 바람, 기압, 강수 등	ECMWF/GFS/KMA 등	raster, contour, particle, etc.
세계공역예보	wind, temp, turbulence, icing, etc.	WAFS	raster & contour
SigWx 차트	jet, turbulence, cloud, volcano, etc.	WAFS	chart
METAR/TAF	공항별 관측 및 예보	WAFS 및 국가별 기상청	marker & tooltip
SIGMET	항공기상관측	WAFS	chart & tooltip
Typhoon	경로 및 범위 등	JTWC 및 국가별 기상청	chart & tooltip

③ 통합기상정보서비스의 서버-클라이언트 간 역할 분담

- 그림은 본 통합기상서비스 프로토타입에 있어서 서버-클라이언트 간 역할을 보여줌
- 서버의 연산비용을 최소화하고 사용자(클라이언트)의 연산능력을 최대한 활용하는 방향으로 설계됨
- 서버가 제공하는 대용량의 기상정보들은 loseless 방식으로 압축된 필드(스칼라장 또는 벡터장) 이미지(PNG)로 제공됨. 이 때 스칼라 및 벡터 필드이미지의 구체적인 값들은 PNG 이미지의 RGB 채널에 24비트(scalar field의 경우) 또는 16비트(vector field의 경우)로 인코딩됨
- 클라이언트 어플리케이션은 상기 스칼라장 또는 벡터장의 필드 이미지를 서버로부터 전달받아, 3차원 표출 및 각종 처리를 직접 수행함



[그림] Roles of the server and the client for each weather/flight information

- 수치예보를 통해 제공되는 기상정보는 기본적으로 모든 고도를 포함하는 3차원 공간을 정규격자 형태로 샘플링한 값들의 스칼라장(scalar field) 또는 벡터장(vector field)으로 구성되고, 이러한 3차원 데이터가 3시간 단위의 예측시점마다 생산되어 3일에서 10일까지의 예측 데이터를 제공
- 미래의 항공운항 환경에서는, 상기 기상데이터의 샘플링 해상도가 공간적/시간적으로 더욱 높아지고, 기상예측의 범위는 더욱 넓어지고 길어질 수 있음

④ 통합기상정보서비스 프로토타입 개발을 위한 기술적 도구의 선정기준

- 미래의 운항환경을 위한 서비스 프로토타입을 개발함에 있어 현존하는 가장 최신의 기술들을 적극적으로 활용
- 다양한 종류의 디바이스에서 활용할 수 있도록, 사용자의 접근성을 고려하여 기술 개발 스택 및 프레임워크를 선정하였음
- 통합기상정보서비스의 서버는 향후 스케일링을 고려할 때, 서버의 부하를 최소화하고 확장성을 갖춘 솔루션을 갖추는 것이 바람직. 본 연구에서는 REST API를 기반으로 한 표준 서버 아키텍처를 채택하였음
- 통합기상정보서비스의 클라이언트는 모든 브라우저에서 표준으로 채택된 WebGL 1.0을 기반으로 구현. WebGL의 shader 프로그램을 통하여 GPU의 병렬처리능력을 최대한 활용하도록 구현됨. 따라서 WebGL을 지원하는 브라우저가 있는 모든 컴퓨터 및 모바일 디바이스에서 활용될 수 있음

(마) 기상요소의 위험평가 및 진단지수 개발

① 위험 알람 기술

- 항공기의 이륙 및 착륙 시 위험 기상을 미리 예측하고 이에 대응하는 것은 운항관리 측면의 항공기 운항을 결정하는 단계에서 매우 중요함
- 따라서 계기비행방식(IFR; Instrument Flight Rules)에서 관측 및 예보 정보를 이용하여 각 기상 제한치(criteria)에 따라 알람을 주는 시스템을 설계하고 이에 대한 프로토타입을 개발함
- 한국 내의 공항 뿐 아니라 모든 공항에 적용할 수 있도록 기상청에서 제공하는 한국 공항 정시 관측보고(METAR)와 예보(TAF) 데이터 뿐 아니라, 세계공역예보(WAFS)에서 제공하는 METAR/TAF 데이터를 사용함
- 공항별 기상상태 경보는 “위험”, “경고”, “주의”, “정상”의 네 단계로 구별하며 이러한 경보 단계의 판단은 시스템 공통 기준과 함께 각 공항별 기준을 함께 고려하여 이루어짐
- 본 연구 개발에서는 위험기상 경보 기준 임계값을 하나의 예시로만 제시했으며, 이 부분에 대해서는 각종 데이터의 통합과 통계 분석 및 검증이 추가적으로 필요함
- 본 연구개발에서 위험 알람 기술 개발의 목표는 사용자가 위험 기상 경보 기준을 쉽게 설정하고 시각적인 경보를 이용해서 쉽게 인지할 수 있는 시스템의 개발임
- 시스템은 크게 아래와 같이 구성됨

㉓ 기상자료 수집 :

- 대용량 스토리지를 갖춘 FTP(File Transfer Protocol) 서버, 관리용 스크립트 및 프로그램을 사용

㉔ 자료 추출 및 메시지 표준화

- 원본 데이터(raw data)로부터 표준화된 형식의 METAR/TAF를 추출
- 중복된 내용을 제거하고 비표준화된 메시지를 표준화하여 효율적인 정보 추출 및 관리

㉕ 공항별 기상정보 DB화

- 자료 추출 및 메시지 표준화에서 추출된 데이터를 이용

- 메시지들을 신규 자료 생성 알림에 의한 트리거 혹은 주기적인 작업을 통해 조회하여 공항별 최신 기상상황을 업데이트
- 과거 기상정보 조회 및 통계 분석을 위하여 기상정보 이력을 DB화

㉔ 실시간 경보체계 및 사용자 서비스

- 최신 기상상황과 설정된 경보 발생 기준을 이용하여 사용자에게 공항별 위험기상 경보를 시각적으로 표출, 발생 원인을 문자열 형태로 표출

② 윈드시어 진단지수

- 윈드시어(Wind Shear)는 대기 중에서 짧은 수평, 수직거리 내에서 짧은 시간 내에 풍향 혹은 풍속이 급격히 변하는 현상이며, 이 중 지표 부근에서 발생하는 저층 윈드시어 (LLWS; Low Level Wind Shear)는 지상 2,000ft 이하에서 발생하는 윈드시어를 의미함
- 저층 윈드시어는 항공기 이/착륙시 활주로 근처에서 정풍이나 배풍의 갑작스런 변화를 초래하여 항공기 운항에 위험을 주는 기상요인이며, 저층 윈드시어는 미국 기상청의 공항예보 지침에 의거하여 지표와 2000ft 고도의 두 층 사이의 바람벡터의 차로 정의됨
- 정의를 수치모델에 적용하면 각 수평 격자별로 지표의 바람벡터와 2000ft로 선형 내삽된 등압면 바람벡터의 차의 크기를 이용하여 저층 윈드시어의 강도를 구할 수 있음
- 본 연구에서는 전선의 통과, 역전층, 하층제트, 산악효과, 그리고 해풍 등에 의해 발생할 수 있는 비대류성 저층 윈드시어를 대상으로 아래 식을 이용해 윈드시어 강도를 계산하고 ICAO의 강도에 따른 경보기준에 따라 경보 기준값을 설정함

$$\Delta w = \sqrt{(u_{2030} - u_{10})^2 + (v_{2030} - v_{10})^2}$$

③ 난류 진단지수

- 난류(Turbulence)는 크고 작은 공기덩어리가 방향이나 속도, 강도 등이 불규칙하게 변하면서 소용돌이치는 현상으로, 항공기가 강한 난류 지역을 지나게 되면 치명적인 항공기 사고로 이어질 수 있음
- 난류는 일반적으로 발생 장소, 규모, 그리고 발생 원인에 따라 저고도 난류 (LLT; Low Level Turbulence), 뇌우 난류 (TNT; Turbulence Near Thunderstorm), 청천 난류 (CAT; Clear Air Turbulence), 산악파 난류 (MWT; Mountain Wave

Turbulence)로 분류함

- 국내에서 항공난류 지원을 위해 사용하고 있는 방법은 크게 두 가지로, 첫째는 기상관측자료로부터 연직 윈드시어 (VWS; Vertical Wind Shear)를 계산하여 난류가 존재하는 층을 예측하거나, 단열선도 상에서 'air parcel method'를 이용하여 주위 공기와의 온도차와 운형으로부터 난류 강도를 추측하는 방법이며, 두 번째는 수치 모델 예측장을 이용한 객관 예보 방법임
- 본 연구에서는 Petterssen(1956)의 전선발생 강도식에 기반한 Ellrod and Knapp(1992)의 TI2를 적용하여 각 두 등압면 사이의 운동학적 난류지수를 계산함
- TI2는 $TI2 = VWS \times [DEF + CVG]$ 에 의해 계산되며, VWS항은 연직 윈드시어(높이에 따른 풍속이 변화율), DEF는 바람의 변형(제트기류의 골, 마루, 출구에서 큰 값을 가지며 전선대 강화에 기여), CVG는 바람의 수렴(스트림라인의 수렴 또는 공기의 감속에 의해 일어나는 압축으로 전선의 발생 혹은 중력파 발생에 기여)을 각각 나타냄
- 본 연구에서 난류 진단지수의 강도는 AFGWC 기준에 따라 4 미만의 경우 Light-Moderate, 4 이상 8 미만의 경우 Moderate, 8 이상의 경우 Moderate-Severe로 분류함

④ 해무 진단지수

- 안개는 지면이나 해면에 인접한 층에서 수증기가 응결하여 대기 중에 부유하여 수평시정이 1km 미만으로 나타나는 현상이며 해무는 안개가 연안 혹은 해상에서 발생하는 경우를 말함
- 해무는 해상에서 일어나는 악기상 중 가장 빈번하게 발생하며, 특히 우리나라는 삼면이 바다로 이루어져 있으며 주요 공항이 해안에 인접해 있기 때문에 항공교통에 상당한 영향을 주고 있음
- 안개는 발생 원인에 따라 복사안개(radiation fog), 이류안개(advection fog), 전선안개(frontal fog), 김안개(steam fog), 활승안개(upslope fog)로 분류하며, 이 중 복사안개, 이류안개, 활승안개는 공기의 냉각(수증기 응결) 과정에 의해 발생하며, 전선안개와 김안개는 수증기의 증발과정에 의해 발생함
- 김안개의 경우 상층대기로 확산되기 때문에 짙게 끼이지 않으며, 활승안개는 주로 산악지형에서 발생하며, 따라서 항공 교통사고를 초래하는 안개는 주로 복사안개, 이류안개, 전선안개임
- 특히 해안지역에서는 복사안개와 이류안개의 특징이 복합적으로 나타나는 특성이 있으며 이를 연안안개(coastal fog)라 함

- 본 연구에서는 대기-해양 상호작용과 지형에 따른 효과를 수치모델이 모사해 줄 것이라 가정하고, 수치모델 변수 중 Fog Fraction과 Visibility를 이용하여 해무를 포함한 안개의 발생과 그 위험도를 지수 형태로 표출함
- 안개의 발생은 각 격자의 Fog Fraction을, 안개의 위험도는 Visibility를 이용하여 계산하였으며, Visibility에 따른 위험도는 국제 시정 분류에 따른 thick fog, fog, mist(박무) 기준값을 이용하여 지수화 하였으며, 이를 SEVERE, STRONG, MODERATE, LIGHT의 4 단계로 분류함

(바) 예측 모델링 및 개선 방안 고도화

- 기상 예보는 미래의 기상 현상을 예측하는 것으로, 현재에는 일반적으로 기존의 관측 값을 기반으로 수치적인 계산 또는 확률적인 계산을 통한 정량적인 수치예보 모델을 활용한 예측이 사용됨
- 수치예보 모델은 예측자료를 효율적으로 예측할 수 있는 방법이지만, 수치적 결과 도출을 위한 수식으로 이루어진 모델의 한계로 인하여 실제 환경과 같을 수 없는 한계가 있으며, 수치예보 모델의 계산을 위해서는 슈퍼컴퓨터를 사용한 계산을 해야 하는 등 대량의 자원 투입이 필요함
- 기상 예보 분야에서 수치예보 모델의 한계를 극복하기 위하여 모델의 보완, 정확도 향상 등의 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 기존의 모델 결과를 쉽게 활용하기 위한 연구도 이루어지고 있음. 또한, 이러한 연구는 항공 기상 분야에서도 이루어져 정밀한 수치 예보, 검증과 정보 활용성 증대에 관한 연구도 수행되고 있음[8]
- 활주로 가시거리는 항공기 및 지상 이동체의 시야거리 중 활주로 인근에서의 수치를 측정한 것으로, 안개 등의 악 기상 상태에서 활주로, 활주로 중심선을 식별하기 위한 정도를 나타냄. 활주로 가시거리는 비행장 인근의 시정을 나타내는 것보다 항공기 이착륙을 위한 기상조건을 더 정밀하게 나타내는 수치라 할 수 있음
- 우리나라의 인천국제공항 활주로 시정의 경우 착륙 최저치를 밑도는 저시정 상태가 2월에서 6월 사이에 주로 발생. 이 시기는 야간 복사 냉각에 의한 안개와 해상에서 만들어진 안개가 내륙으로 들어오는 해무가 주로 발생하며, 이와 같이 각 공항 또는 비행장에서 이착륙에 영향을 미치는 가시거리의 최저 시정치 이하의 기상 발생 원인은 주로 안개라고 할 수 있음
- 특히, 인천국제공항 및 한서대학교 태안비행장 등과 같이 해안지역에 위치하는 등의 특징이 있는 지역에서는 해무의 영향을 받는다고 할 수 있음
- 항공기 안전에 영향을 주는 기상요소에는 뇌우(thunder storm), 착빙(icing), 난류(turbulence), 산악파(mountain waves), 윈드시어(wind shear), 순간돌풍

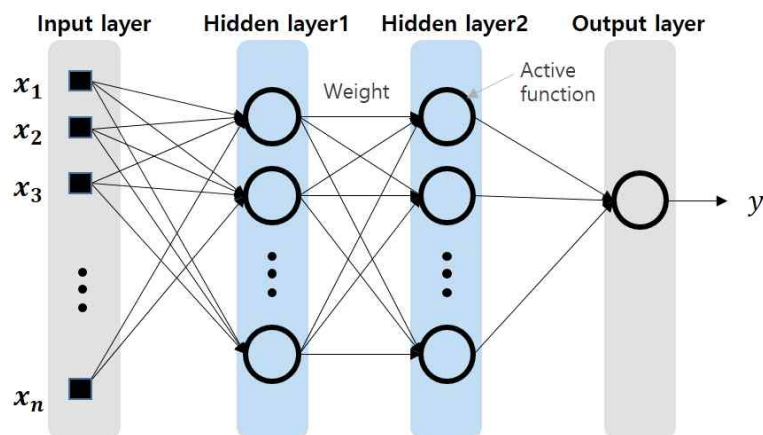
(microburst), 시정(visibility) 등이 있음

- 이 중 시정은 비행시정, 활주로 가시거리(runway visual range)등으로 구분할 수 있으며, 활주로 가시거리는 항공기가 활주로에 이륙 및 착륙을 결정하는데 직접적인 영향을 미치는 요인임
- 항공기가 운항하는 공항에서는 매시간 정기적으로 발행하는 기상정보(METAR : meteorological aerodrome report) 및 6시간 간격으로 발행하는 예보 정보(TAF : terminal aerodrome forecast)에 활주로 가시거리 정보를 포함하여 조종사 및 운항관리사 등의 항공종사자가 안전한 업무를 수행할 수 있도록 함
- 우리나라는 각 공항에 위치한 항공기상청 출장소에서는 해당 공항의 실시간 기상정보를 관측하고, 해당 관측 정보 및 예보 정보 등을 제공하고 있으며, 공항이 군 비행장을 공동으로 사용하는 경우 군 기상대에서 기상 정보를 제공함
- 충남 태안에 위치한 한서대학교 비행장과 같은 민간소유 비행장은 안전한 항공기 이착륙이 가능한지 확인하기 위한 실시간 기상 정보를 관측하지만, 별도의 기상 예보는 하지 않고 있으며 필요시 기상청의 지역 예보 등을 참고함
- 비행장 기상 측정 항목 중 활주로가시거리는 비행장을 포함하는 인근 지역의 시정 정보와는 다르게 활주로 상에서 가장 먼 부분의 표시선 또는 등화를 볼 수 있는 최대 거리를 나타내는 것으로, 비행장에서 이착륙 하는 항공기의 안전한 운항을 위하여 적정 수준 이상의 가시거리가 확보될 때 운항이 가능하도록 하고 있음
- 시계비행(VFR : visual flight rule) 항공기는 다른 항공기와의 충돌 회피를 위해서 필요한 상황 인식에 필요한 최소 5,000m 이상의 시정을 요구하며, 일반적으로 이착륙 단계에서도 동일한 기준이 적용됨
- 활주로 가시거리는 수평방향으로 먼 거리의 지물을 육안으로 식별할 수 있는 최대 거리인 시정과 다르게, 활주로 또는 공항 지면에서 움직이는 항공기 및 지상 이동체(vehicle)의 지면 시야 거리로 시정과 다르게 나타날 수 있음
- 따라서 항공기상에서는 시정의 상세한 측정 항목으로 활주로 가시거리 또는 활주로 시정(RVR : runway visual range)을 정하고 있음
- 활주로 가시거리는 지면에서 운영되는 이동체의 안전을 뿐만 아니라 낮은 시정에서 이착륙 하는 계기비행(IFR : instrument flight rule) 상태의 항공기의 안전을 위해서도 중요한 항목으로 항공기 이착륙시의 실황 측정만큼 예측에 대한 연구도 필요함
- 기상예보 기능을 제공하기 위한 자원이 부족한 비행장에서 관련 정보 생성을 위해서는 해당 지역에 맞춤형 정보 생성 방법이 연구될 필요가 있음
- 본 연구는 활주로 가시거리 예측 모델을 개발하기 위하여 심층신경망(DNN : deep neural network)을 활용하였으며, 추가로 합성곱신경망(CNN : convolution neural network)으로 데이터 처리를 수행하였음

- 심층신경망은 은닉 층을 2개 이상 사용하여 보다 복잡한 네트워크를 가진 인공신경망으로 비선형적인 관계를 가지는 입력과 출력에 대한 학습모델을 생성할 수 있음
- 합성곱 신경망(Convolutional Neural Networks)은 이미지 인식을 위해 고안된 특수한 연결 구조를 가지는 심층신경망으로, 이미지 인식 뿐 만 아니라 음성 인식, 자연어 처리 등 다양한 곳에서 사용하고 있으며, 일반적으로 인접한 두 개의 층간의 노드들이 서로 완전히 각각 연결된 완전연결(Fully connected) 구조를 가짐
- 이에 본 연구에서는 기존 측정된 풍속, 습도, 기온, 시정 등 시계열 기상 관측 정보를 입력으로 하는 학습모델을 생성하고, 이렇게 생성된 모델을 통해 활주로 시정을 예측하여 특정 비행장의 지협적 정보 생성이 가능한지 확인하고자 함

① 심층신경망 (DNN)

- 인공신경망은 뇌의 뉴런들의 상호 작용과 경험을 통해 학습해 나가는 것을 모사해 만든 알고리즘으로, 1958년 Rosenblatt에 의해 제안된 퍼셉트론 학습 모델 또는 단층 신경망을 시작으로 다양한 형태로 개발되고 있음
- 초기 단층 인공신경망은 선형 분리 가능한 문제와 같은 제한적인 문제만 풀 수 있었으며, 신경망의 크기에 따라 요구되는 계산 량이 증가하는 문제점을 가지고 있었다. 이러한 문제점들을 극복하고자 단층에서 보다 복잡한 심층구조로 확장을 통해 단점을 보완함
- 하지만 심층구조에 따른 과잉 학습, 데이터의 특성을 나타내는 경사(gradient) 사라짐이나 폭발과 같은 문제점들이 나타나게 되었으며, 이를 위해 1975년 P. Werbos에 의해 제안된 오차역 전파법과 비선형 활성화 함수를 이용한 방법과 2006년 G. Hinton에 의한 가중치의 적절한 초기화를 통해 심층 신경망의 문제점들이 개선됨

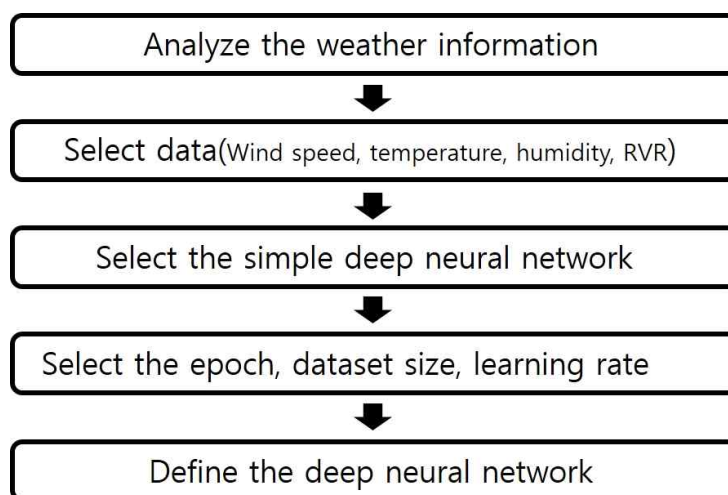


심층신경망 구조

- 일반적으로 은닉 층이 2개 이상인 경우 심층 신경망이라고 칭하게 됨
- 본 연구에서는 그림과 같이 2개의 은닉층을 가진 심층신경망 구조를 구성해서 학습을 구현했으며, 그림에서 둥근 원은 노드를 의미하고, 각각의 노드는 sigmoid 함수나 ReLU(rectified linear unit) 함수와 같은 활성화함수(active function)를 포함하고 있음
- 각 층의 노드를 연결한 화살표는 신호의 흐름을 나타내고, 이전 노드의 데이터는 가중치(weight)를 곱하여 화살표로 연결된 다음 노드에 전달됨
- 전달된 가중치가 곱해진 입력 데이터들은 모두 더해져 즉, 가중합(weighted sum)되어 활성화 함수를 통해 출력 값이 생성되고, 이렇게 얻은 출력 값과 실제 측정값 사이의 오차를 최소화하기 위해 각 가중치는 학습을 통해 갱신되게 됨

㉠ 심층신경망 개발 절차

- 본 연구에서 심층신경망 개발 및 적용을 위해서 그림과 같은 절차를 사용. 우선 대상 비행장의 기상관측 자료를 분석해 시정과 관련된 기상 정보를 추출하고 이를 심층신경망의 입력으로 선정함
- 선정된 기상 관측 자료를 바탕으로 간단한 구조의 학습모델을 구성하여 가시거리 예측 값을 도출. 가시거리 예측값과 측정값의 비교를 통해서 간단한 구조에서부터 점진적으로 노드와 은닉 층을 늘려가면서 학습 모델을 개선함
- 심층신경망에 대한 적절한 모델이 구성되고 나면, 학습 횟수와 학습을 위한 데이터 크기, 학습 비율 등을 조절해가면서 원하는 학습 모델을 설정함



심층 신경망 개발 절차

㉠ 태안비행장 관측 자료

- 본 연구는 지협적인 지역에서의 가시거리에 해당하는 특정 기상 현상에 대한 예측을 목적으로 함. 비행장 기상 예보를 수행하여 공표하는 공항에서는 수치예보 모델과 지역 및 공항의 기상 관측치를 활용하여 예보를 시행하지만, 기상 예보 기능이 없는 소형 비행장에서는 항공기 이착륙 가능 여건 변화에 대한 예측을 경험적 조건 또는 정성적 조건에 의하여 이루어지기 때문에 이에 대한 예측 정확도 향상 보완 등이 가능함
- 본 연구에서의 대상은 활주로 가시거리를 예측하는 것이기 때문에 비행장 기상 상태를 관측한 데이터가 필요함. 기상 관측이 수행되는 비행장 중에서 연구 목적으로 관측 데이터의 활용이 가능한 한서대학교 태안비행장을 지역적 대상 선정하였음
- 관측 데이터는 2015년 4월부터 7월까지의 4개월 기간에 축적된 것을 활용. 시간적 범위를 해당 기간으로 한정 한 이유는 태안비행장이 위치한 태안 지역의 경우, 인천 국제공항 등과 같이 서해안 해안 지역 특징의 유사한 기상 패턴을 보인다고 볼 수 있으며, 활주로 가시거리의 영향을 확인 할 수 있는 저시정 상태와 이에 대한 원인인 해무가 자주 발생하는 지역이기 때문임
- 그림은 태안비행장의 전경을 나타내며, 표는 태안비행장의 기상관측 장비의 측정 항목에 대한 정보임



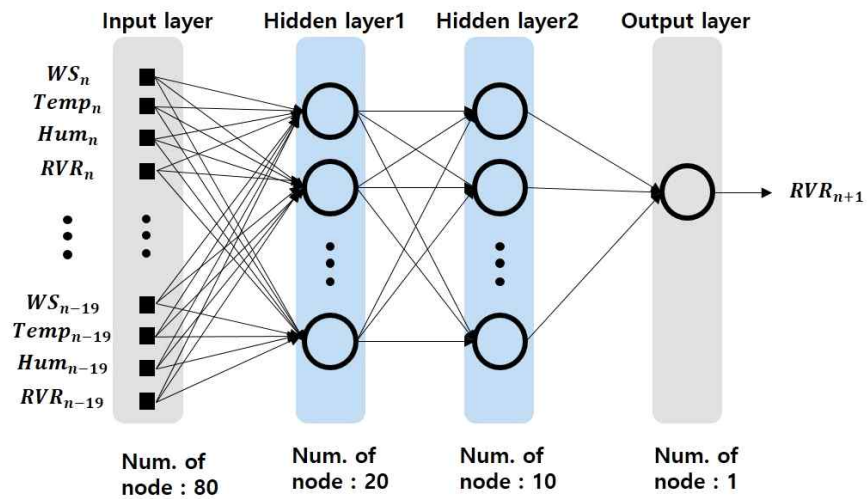
태안비행장

태안비행장 기상장비 측정 항목

Equipment	Measuring contents
AMOS	Wind direction / Wind speed Temperature / Dew point Humidity Pressure Visibility / Runway visual range Cloud height

㉔ 모델 구현 및 개발

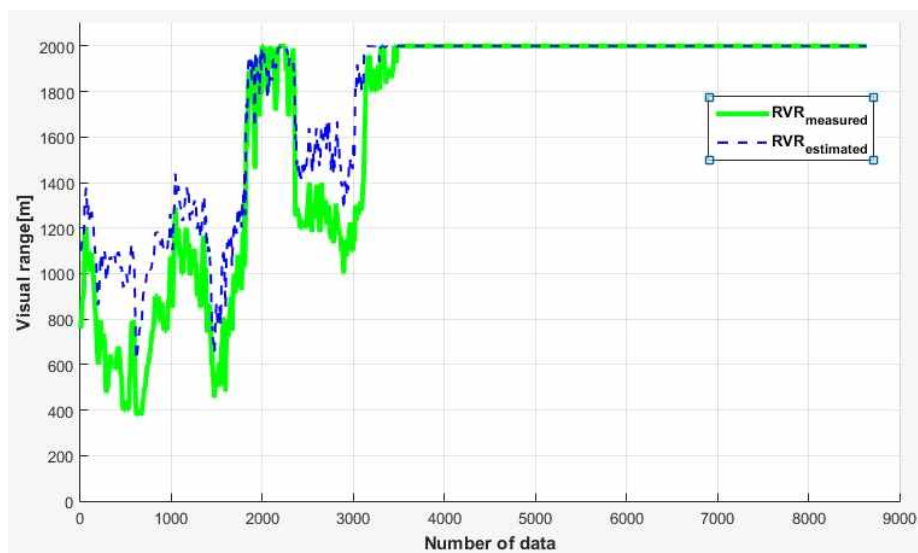
- 본 연구의 심층신경망은 그림과 같이 구성. 심층신경망의 입력으로 사용되는 기상 관측입력은 10초 단위로 기록된 풍속(windspeed), 기온(temperature), 습도(humidity), 활주로 가시거리(RVR) 측정값의 2분 평균 데이터를 사용하였음
- 본 연구에서 제시하는 가시거리 예측 모델은 가시거리에 직접적인 영향을 미치는 안개의 상대적 정도를 적용하는 것이 필요. 안개의 종류에 따라 발생 원인이 다르지만 대기의 온도 및 습윤 상태, 안개의 소산에 영향을 미치는 풍속을 주요 입력 데이터로 사용하였고, 기존 입력 값에 의한 예측 값의 시계열적 보정을 위해서 측정된 가시거리 값도 입력 값으로 활용함
- 또한 시정을 예측하기 위해서 측정 시점만의 기상 관측 정보만 입력하는 것이 아니라, 일정 기간의 과거 기상 정보를 함께 이용해 과거의 변화율을 포함. 이를 위해 본 연구에서는 200초 이전의 과거 데이터에서부터 현재까지 풍속, 기온, 습도, 시정 데이터를 입력으로 사용함
- 앞에서 언급한 바와 같이 기상관측정보는 매 10초마다 측정되기 때문에 200초의 정보간의 데이터의 양은 그림에서와 같이 80개(20Ticks×4개 기상정보)의 데이터를 입력으로 사용해서 입력 층에 입력. 그림에서 아래 첨자 n은 현재를 의미하고, 아래 첨자 n-19는 200초 전의 기상 데이터를 의미함
- 본 연구에서는 상기 그림에서와 같이 입력층은 80개의 노드, 은닉 층1은 20개의 노드, 은닉 층2은 10개의 노드, 출력 층은 1개의 노드로 구성하였음. 이 구성은 모델 개발을 위하여 적절한 조건의 구조를 찾기 위해서 비교적 복잡한 구조부터 단순한 구조까지 확인하고, 경험적 데이터의 특성을 확인하는 절차를 사용하였음
- 활성화함수로는 시그모이드 함수를 사용했고, 가중치(weight)들은 확률적 경사 하강법(SGD : stochastic gradient descent)을 이용한 오차역전파법으로 가중치를 갱신함. 그리고 본 연구에서는 적절한 학습 횟수와 학습률을 도출하기 위하여, 해당 변수들을 변경해가면서 반복적으로 시뮬레이션을 해 적절한 학습 횟수는 200번 및 학습률 0.001을 선정하였음
- 가중치의 초기 값은 xavier initialization을 통한 초기화를 시도하였으나, 연구에 사용한 데이터의 경우 균등분포 random 함수를 통한 초기화보다 더 나은 결과를 도출하지 않았음. 따라서 본 연구에서는 모델의 초기 입력 값을 random 함수를 통한 초기화를 통한 값을 사용하였음



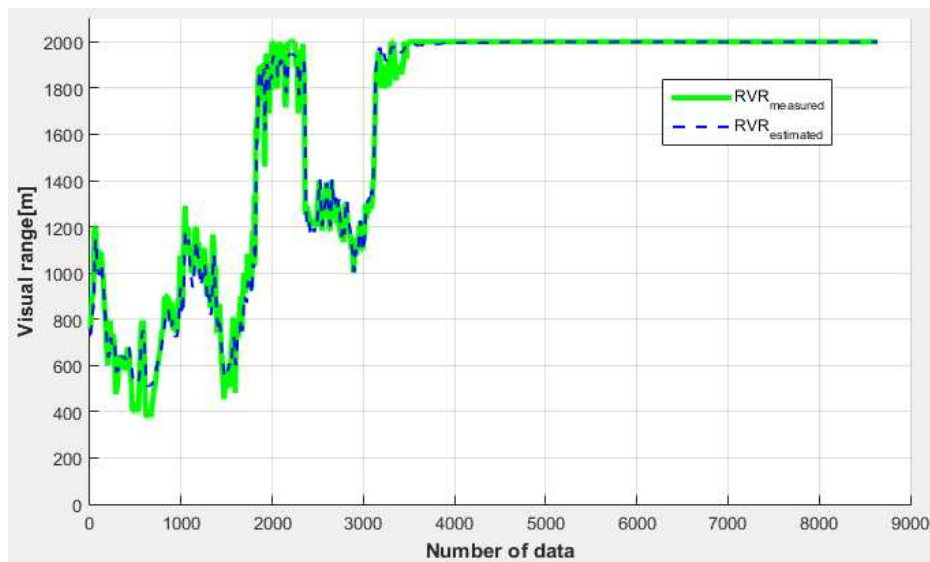
심층신경망 기반 RVR 예측 모델

㉔ 모델 검증

- 개발된 모델의 확인 및 검증을 위해서 해당 기간의 1일치 데이터를 이용하여 심층 신경망 학습(200회)을 실시하였음. 학습된 모델에 대해서 관측 데이터와 모델 예측 데이터를 시각적으로 비교하여 유사성 또는 일치성이 확보할 수 있도록 하는 모델의 정산(calibration)을 실시하였음
- 아래 그림은 개발된 모델의 정산 이전의 실제 활주로 시정치 관측 값과 모델 예측 값을 비교하여 도식한 것이고, 다음 그림은 정산 후 해당 값을 도식한 것임

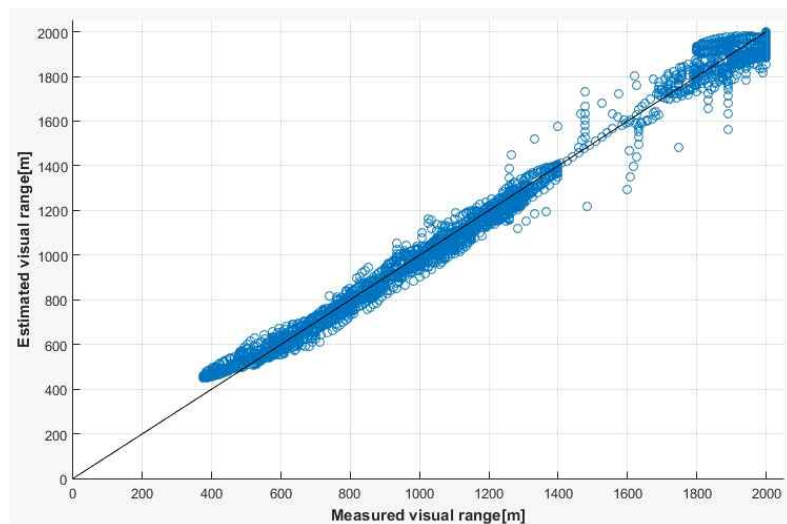


모델 정산 이전의 관측값 및 예측값 1일치 비교



모델 정산 이후의 관측값 및 예측값

- 그림에서 실선은 실제 관측 값이고, 점선은 모델에서 예측된 값임. 그림에서 볼 수 있듯이 모델의 정산 후 데이터의 유사성이 높아진 것을 확인할 수 있음
- 하단 그림은 상단 그림의 관측 값과 모델 예측 값을 1:1로 도식한 것으로, X축은 관측 값, Y축은 예측 값을 각각 의미함



모델 정산 이후의 관측값 및 예측값 비교

- 그림에서 데이터 점이 기울기 1을 갖는 직선상에 있으면 관측 값과 모델 예측 값이 같다는 것을 의미하는 것으로, 직선에 모여 있을수록 데이터의 유사성이 높다고 할 수 있음

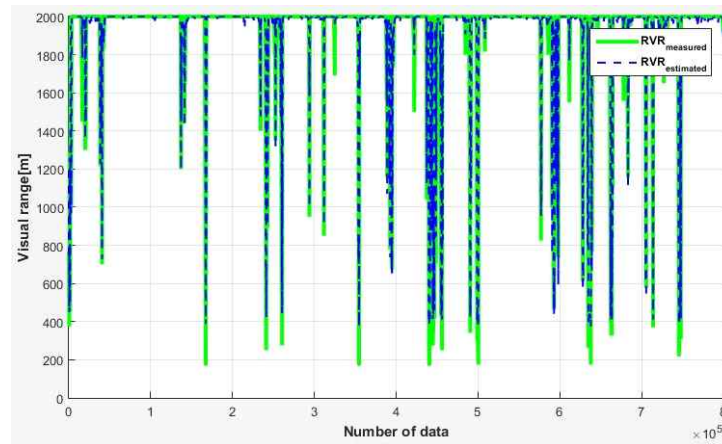
- 이에 대한 정량적 수치는 직선과 데이터 점 사이의 차이에 의하여 확인할 수 있으며, 데이터의 상관 계수(R^2) 값은 0.9981, RMSE(root mean square error) 값은 31.3123으로 데이터 유사성이 높은 것으로 확인됨

㉠ 활주로 가시거리 예측

- 구현 및 개발된 심층신경망을 활용한 활주로 가시거리 예측 모델을 사용하여 실제 활주로 가시거리의 예측을 수행하기 위하여, 이전에 측정된 일정 기간의 기상 데이터를 사용하여 모델 결과의 예측 값을 도출하였음. 예측된 기상 데이터의 적절성 확인을 위하여 측정된 결과 값인 활주로 가시거리와 비교 분석을 수행하였음
- 예측 모델의 입력 데이터는 2015년 4월부터 2015년 7월까지의 4개월 동안의 기상 정보를 사용하였음. 각 입력 데이터는 3.3에서 제시한 것과 같이 풍속, 기온, 습도, 활주로 가시거리로서 데이터 간의 단위와 측정 범위의 수치가 다르고, 데이터 간의 유사성이 없으므로 각각의 입력 데이터에 대하여 정규화 하여 입력할 필요가 있음. 이때 데이터는 식 (1)과 같이 정규화를 실시하였음

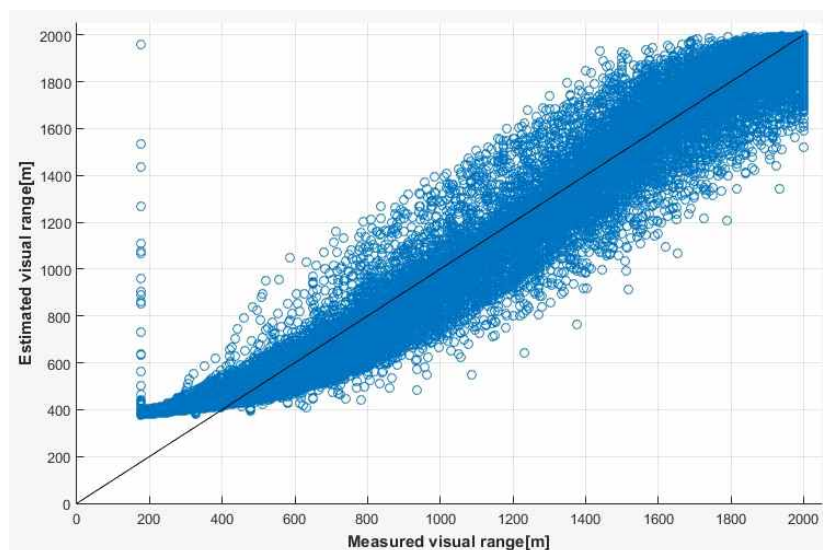
$$x'_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

- 여기서 x_i , x'_i , $x_{\max}$, $x_{\min}$ 는 i 번째 측정된 기상 정보, i 번째의 정규화 된 기상 정보, 측정된 기상 정보의 최댓값과 최솟값을 의미함
- 정규화 과정을 통해 각 기상 데이터는 0과 1사이의 값으로 변환되어, 특정 입력 변수에 가중치가 편중되지 않도록 하였음
- 4개월 기상 데이터 중 안개가 짙은 1일치 기상 데이터를 선정해 본 연구에서 제시한 심층신경망을 통해 모델 결과치에 대한 학습을 실시하였음
- 그림은 상기에서 제시된 4개월 기간 동안 측정된 활주로 가시거리와 예측된 값을 비교한 것임. 그림에서 실선은 활주로 가시거리의 측정값을 나타내는 것이고, 점선은 예측 값을 나타내는 것이다.
- 데이터의 총 수는 921,080개 이고, 가시거리가 400m 이하로 관측 된 저시정 상태에서의 최저값이 완벽히 일치하지 않는 것을 제외하고는 비교적 유사한 데이터의 형태를 보이는 것을 확인할 수 있음



심층신경망 모델의 관측값 및 예측값 4달치 비교

- 하단 그림은 상단 그림의 관측 값과 예측 값을 1:1로 도식하여 그린 것임. 상기 그림과 같이 기울기 1의 직선 상에 위치한 데이터는 관측 값(X축)과 예측 값(Y축)이 정확히 일치하는 의미임
- 하단 그림의 전체적인 데이터 형태는 모델 검증의 동일 그림 데이터에 비하여 기울기 1의 직선에서 더 산포된 것으로 확인할 수 있으나, 이는 데이터의 수가 증가하였기 때문임

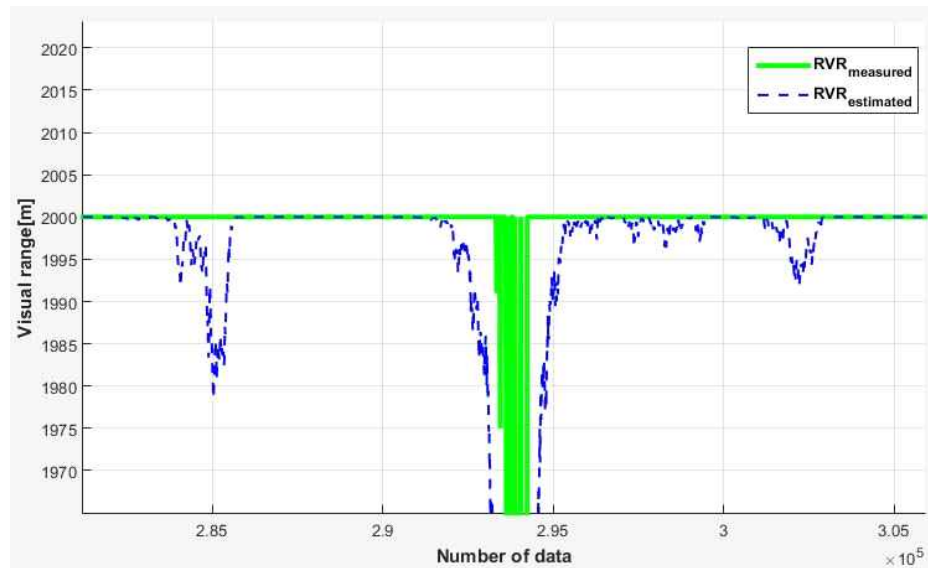


심층신경망 모델의 관측값 및 예측값 4달치 비교

- 데이터 중에서 실제 관측 값은 200m 이하로 낮으나, 예측된 값의 오차가 매우 큰 그림의 좌측에 있는 점에 해당하는 데이터는 가시거리 예측에 사용된 풍속, 온도, 습도 등의 관측 데이터가 오류로 인하여 발생한 것임 이는 실제 예측치를 활용하는

경우에 매우 작은 숫자의 데이터로서 10초 단위의 데이터 표출 또는 활용하는 단계에서 기존 값 추세 대비 큰 오류 값을 무시하는 방법 등을 활용하여 처리할 수 있음

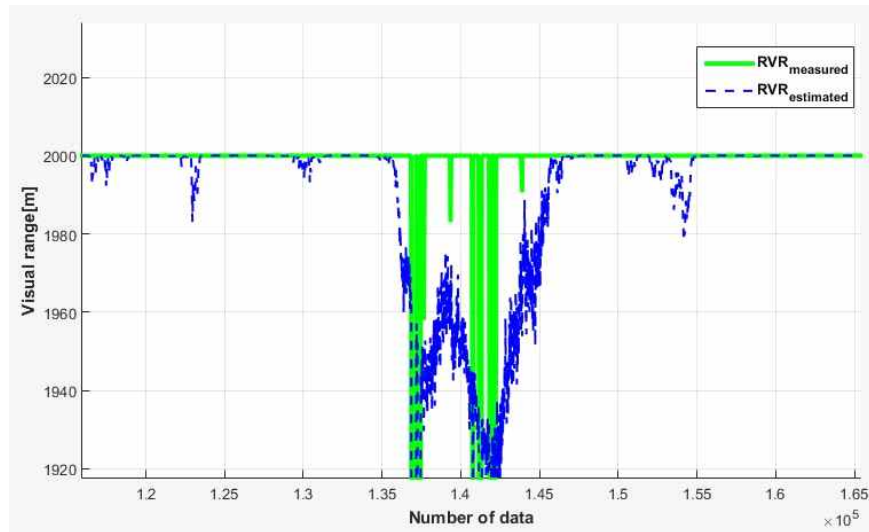
- 그림은 관측 값과 예측 값의 상세 비교를 위한 것으로 실선은 관측 값, 점선은 예측 값을 나타냄
- 관측 값의 대부분 데이터가 2,000 m에 표기되어 있는 이유는 활주로 가시거리의 관측치는 2,000 m 이상의 경우 2,000 m 로 데이터를 표출하고 저장하기 때문으로, 실제 관측치가 시계비행이 가능한 5,000 m 인 경우에도 2,000 m 로 저장함
- 데이터의 이러한 저장 형태는 활주로 시야거리의 예측 모델을 개발하는데 주요한 오차 요인이지만, 개발된 예측 모델의 경우 적절하게 반영 및 보정된 것을 확인할 수 있음



데이터 비교를 위한 상세 데이터 I

- 그림에서 실선에 비하여 점선의 일부 값이 낮은 예측 치를 보이는 것을 볼 수 있으나, 이는 개발된 예측 모델이 관측 된 값을 활용한 예측치 도출에 민감한 반응을 보이기 때문임
- 이러한 특징은 실제 시정이 낮아지기 이전에 시정이 낮아질 수 있는 추세를 예측하는데도 활용할 수 있으며, 그림의 두 번째 데이터 하강 부분에서 해당 특성을 확인할 수 있음
- 그림은 활주로 가시거리가 낮아진 상태에서 단기간 시정이 좋아졌다가 다시 낮아지는 측정값을 개발된 모델이 예측한 추세를 확인할 수 있는 그림임

- 개발된 모델이 상단 그림의 데이터 및 하단 그림의 데이터 전반부에서 확인 할 수 있듯이, 측정된 데이터에 대하여 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 특성을 낮아졌던 가시거리가 호전된 후 다시 낮아질 때의 특성도 사전에 예측할 수 있음을 확인할 수 있음



데이터 비교를 위한 상세 데이터II

㉢ 예측 모델 활용을 위한 제언

- 본 연구에서 활주로 가시거리 예측을 위하여 심층신경망을 이용한 예측 모델을 제시하였음. 심층 신경망은 2개 이상의 은닉 층을 사용한 인공신경망으로 비선형적인 관계를 가지는 입력과 출력에 대한 학습 모델을 생성할 수 있음
- 기상현상은 많은 변수들의 복잡한 관계를 가지는 것으로, 기상예보를 위해서는 정밀한 예측 모델과 다양한 위치의 기상 측정치를 사용하여 대용량의 데이터 처리 및 계산이 필요하여 실제 업무에서는 슈퍼컴퓨터가 활용되고 있음
- 안전한 항공기 운영을 위해서는 이착륙 지역인 공항의 기상 예보가 중요하며 실제 국제공항 등의 운송용 항공기가 운항하는 공항에서는 기상 실황 및 항공기상 예보 서비스가 제공되지만, 소형비행장 등은 예보 서비스가 되지 않는 한계가 있음
- 본 연구에서 제시한 심층신경망을 이용한 활주로 가시거리 예측 모델은 사례 비행장의 기상 실측 데이터를 활용하여 지협적인 지역에서의 가시거리를 예측하기 위한 모델을 구축하고 이에 정산 과정을 거쳐 실황 적용 가능성을 확인하였음
- 개발된 예측 모델은 비행장 기상 측정 변수 중 풍속, 온도, 습도 등의 데이터만 활용하여 활주로 가시거리를 예측할 수 있었음

- 특히, 개발된 모델에서 도출된 예측 값은 실측값보다 민감하게 가시거리 변화를 도출하는 특성을 확인하였으며, 이러한 특징은 항공기 안전 운항의 영향과 공항의 운영 효율성 저해에 영향을 미칠 수 있는 저시정 상태가 발생하는 것을 미리 예측할 수도 있음을 확인하였음
- 본 연구에서 제시한 예측 모델은 사례 비행장 기상 측정 데이터 중 가시거리에 관계가 높은 일부 데이터만 수용하였으며, 이는 예측 값의 정밀도에도 영향을 미칠 수 있을 것이므로 이에 대한 고려를 통한 연구가 추가로 필요할 것임.
- 또한, 정밀도 향상을 위하여 심층신경망 이외의 심층 신경망의 단점을 보완한 합성곱 신경망(CNN; convolution neural network)이나 순환 신경망(RNN; recurrent neural network) 등 다양한 방법론들을 적용한 예측 알고리즘에 대한 연구도 필요할 것임

② DNN 고도화

㉠ 이전 모델의 한계

- 기존 학습 모델에서는 입력 값으로 10초 단위로 측정된 2분 평균 기상 관측 자료(풍속, 기온, 습도, 활주로 가시거리)의 1일치 기상 측정 자료를 사용해 모델의 학습을 실시함
- 학습된 모델의 검증을 위해서 학습 데이터 이후 4개월간의 기상 측정 자료를 활용해 개발된 모델의 예측 정확도를 확인하였으며, 해당 방법은 모델 개발과 검증에 활용할 수 있는 방법으로 이전 연구 결과로 효용성을 입증함
- 다만, 기존에 수행된 연구의 학습 모델은 2개의 은닉층을 이용한 심층신경망을 구성해 입력된 데이터들의 바로 직후 시간 활주로 가시거리를 예측하였고, 이는 입력 데이터들의 관측 간격에 따라 예측이 이루어지는 시간이 매우 짧으므로 활용성이 낮을 수 있다는 단점이 있음
- 이에 본 연구에서는 짧은 예측 시점을 개선해 실제 항공기 운항을 위해 더 유용한 정보의 생성과 예측을 시행하고자 함
- 이것은 항공기를 이용해 목적지로 이동하기 전 또는 항공기 운항이 가능한지를 결정하는 단계에서, 착륙 가능성을 미리 점검할 수 있어 비행 운영의 효율성과 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대함

㉠ 모델의 고도화

- 활주로 가시거리 예측을 위한 데이터는 기상 상태가 좋지 않은 소수의 데이터와 대체적으로 기상 상태가 양호한 다수의 데이터 값을 사용하여, 가시거리가 일정 수준 이하가 되는 목적 데이터를 생성하게 됨
- 이 과정에서 예측 값은 측정 값과 비슷한 경향성을 띄지만 특정 값을 추정하는 것에는 일부 미흡한 점이 발생할 수 있고, 모델의 고도화 과정에서는 이러한 점까지 개선하기 위하여 최종 단계에서 데이터 보정을 실시하는 과정까지 적용함
- 본 연구에서는 데이터 입력 시점을 기준으로 1시간 이후의 활주로 가시거리의 예측을 목표하며, 이를 위하여 예측에 사용되는 데이터의 간격 특성별 예측 계산 시간과 예측 정확도를 비교하여 최적화된 모델을 개발하고자 함
- 기존 모델은 10초 단위의 기상데이터를 사용함으로 인해, 예측 가능 시간이 비교적 짧고 1시간 이후의 데이터 예측을 위하여 매우 많은 양의 데이터가 요구되었음
- 이를 개선하기 위해, 데이터의 최적의 시간 간격을 선정함으로써, 예측 모델의 계산 시간도 줄이고자 함
- 기존의 실황 기상 자료를 사용해 장시간 이후의 예측을 위해서는 여러 단계를 거쳐 됨
- 만약 정확도 향상 등을 목적으로 매우 짧은 간격의 데이터를 입력으로 사용하고, 이를 이용하는 각 단계별로 작은 오차가 발생하게 되면, 결과적으로 여러 단계를 거치는 최종 단계에서는 큰 오차가 누적되는 문제가 발생하게 됨
- 반면, 시간 간격이 너무 넓은 데이터는 사용하는 경우 예측을 위한 핵심 사항을 입력된 데이터에서 반영하지 못하여 적절한 예측을 수행할 수 없게 됨
- 이에 본 연구에서는 그림3 에서와 같이 입력한 데이터의 시간 간격 변화 등을 통하여, 적절한 데이터를 선정하였으며, 또한 본 연구에서는 앞서 제시한 예측 결과의 정확도 향상을 위하여 마지막 단계에서 주성분 분석(PCA : principal component analysis)을 통한 선형 보정을 적용함

㉔ 입력 데이터의 시간 간격별 영향

- 활주로 가시거리 예측모델을 만들기 위해 적절한 심층구조와 학습 횟수, 학습률, 드롭아웃의 적절한 변수 설정 뿐 만 아니라 적절한 입력 값을 취하는 것도 예측 결과에 영향을 미침
- 본 연구에서는 기존 연구에서 제안된 그림과 같이 2개의 은닉 층과 입력 층, 출력 층으로 구성되어 있는 심층신경망을 사용하였으며, 모델의 구성하기 위해서 학습 횟수 200회, 학습률 0.001, 드롭아웃 0.01로 사용했다. 현재 시점을 기준으로 19 ticks 이전의 기상 정보들까지 입력 값으로 사용하여, 총 20 ticks의 관측 데이터를 사용함

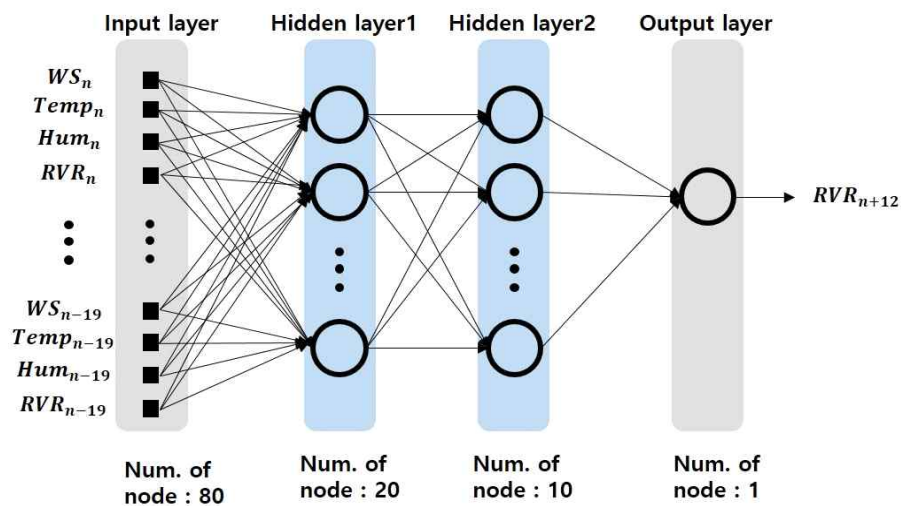
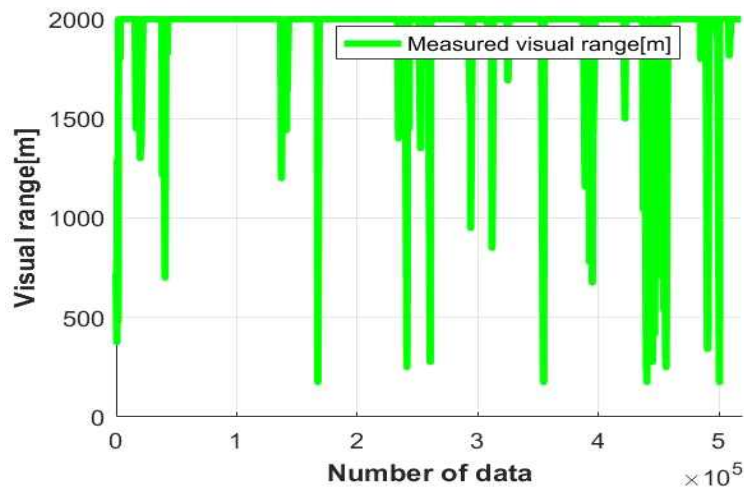


그림 활주로 가시거리 예측을 위한 심층신경망 구조

- 모델의 각 가중치 초기 값은 He initialization을 통해 초기화를 진행하고, 이는 기존 연구와 동일한 것으로 효과성이 확인된 초기 값을 활용하여 연구의 효율성을 증대시키고, 기존 연구와의 결과 비교를 위함임
- 입력 값에 사용하는 기상정보는 활주로 가시거리에 영향을 미치는 풍속, 기온, 습도와 학습 데이터 추세 적용을 위한 각 상황에서의 활주로 가시거리를 사용함
- 연구에서 목적으로 하는 1시간 이후 활주로 가시거리 예측에 최적화된 입력 값의 선정을 위하여, 입력 값의 시간 간격을 10초, 1분, 5분, 10분, 30분, 60분 간격으로 변화시켜 유효한 입력 값을 선정함
- 그림은 유효한 모델 입력 데이터 선정과 모델 학습에 이용한 2달 기간의 활주로 가시거리 관측 데이터이며, 학습과 모델 고도화 검증 등에 사용된 데이터는 활주로 가시거리, 풍속, 기온, 습도 등 시정에 영향을 미치는 주요 값을 사용함



심층신경망 예측 모델에 사용되는 활주로 가시거리 2달 데이터

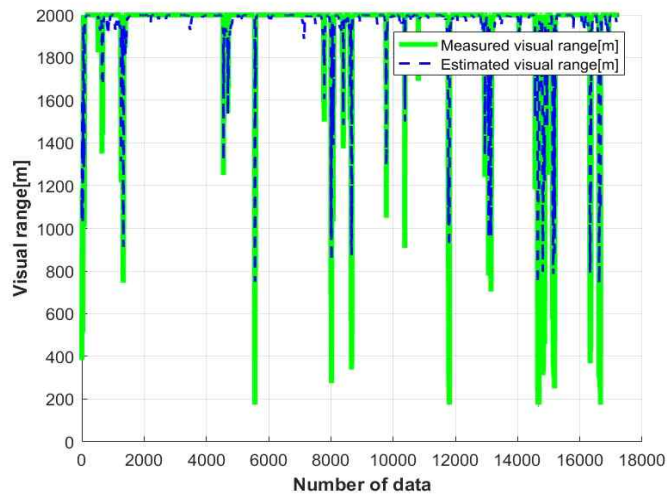
- 표는 1시간 후의 활주로 가시거리 예측을 위한 입력 값의 시간 간격에 따른 예측 값과 실제 관측 값과의 비교를 위한 Correlation과 RMSE의 결과임
- Correlation 과 RMSE를 확인하여 다른 입력 값의 간격보다 양호한 수치가 확인된 5분 간격의 측정 값을 입력 값으로 사용하였으며, 이것은 입력 데이터의 시간 간격 변화가 결과에 얼마나 적절하게 반영하는지를 보여 준다.

표. 1시간 이 후 활주로 가시거리 예측을 위한 입력 값의 시간 간격 변화 따른 예측 값의 Correlation, RMSE결과

Time interval	Correlation	RMSE
10 sec	0.8797	182.5
1 min	0.8893	184.1
5 min	0.9165	118.7
10 min	0.8776	130.3
20 min	0.8703	149.1
30 min	0.7885	184.3
60 min	0.4441	238.6

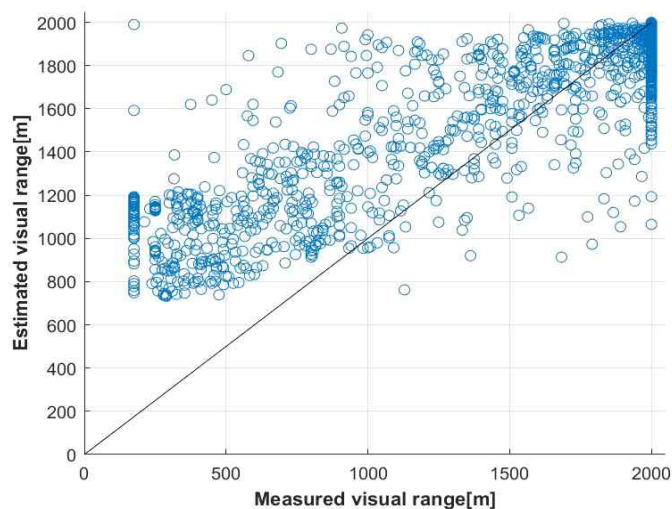
㉔ 모델 고도화 및 검증

- 그림에서 실선(녹색)은 활주로 가시거리에 대한 측정값이고, 점선(청색)은 예측 모델을 통해 얻은 예측 값임



5분 시간 간격의 기상 정보를 사용해 1시간 이후의 활주로 가시거리의 예측값(점선)과 측정값(실선)의 비교

- 그림에서 확인할 수 있듯이 예측 값과 측정 값의 전체 경향성은 유사하지만, 일부 시정이 낮아지는 값에 대해서는 적절한 예측을 하지 못하여 차이가 있는 것을 확인할 수 있는데, 이는 상기 표에서 RMSE가 높게 나오는 것으로도 확인할 수 있음
- 이것의 원인은 활주로 가시거리의 측정 최대치를 2000 m 로 표출되는데 실제 시정치는 그 이상인 값을 갖는 것과 상대적으로 시정이 낮은 횟수가 적은 특성이 반영된 것임
- 그림은 예측 값과 측정 값을 1대 1로 비교한 것으로, 예측 값과 측정 값이 동일한 이상적인 경우 그림의 대각선(45도 선) 상에 점들이 위치하게 됨



5분 시간 간격의 기상 정보를 사용해 1시간 이후의 활주로 가시거리의 예측값과 실제 측정값의 1 대 1비교

- 실제 예측 값과 측정 값의 특성을 확인해보면, 실제 항공기 운영 단계에 영향을 미치는 저시정 상태에서는 예측 값이 측정 값에 비하여 높은 값을 도출하는 것을 확인할 수 있음
- 이는 예측의 정확도를 높여야 하는 차원에서 개선이 필요한 부분으로, 본 연구에서는 선형 변환을 통하여 예측의 정확도를 높이는 고도화를 실시하였음
- 선형 변환을 위해서 예측 값과 측정 값에 대하여 주성분 분석(PCA : principal component analysis)을 시행하고, 실제 데이터에 대한 차원 감소를 적용함
- 2차원에서 1차원으로 감소된 차원에 따라 특성이 반영된 새로운 데이터 축을 도출시켜, 예측 값과 측정 값이 동일한 이상적인 축(그림 7의 대각선)과의 비교를 시행하여 예측 결과를 기준 점으로부터 회전시키는 선형 변환을 시행하여 모델을 고도화 함
- 데이터의 회전은 예측 값과 측정 값이 최대치인 (2000,2000)을 중심으로 실시하며, 이를 위해 데이터 특성을 반영한 새로운 관계식을 식(1)과 같이 표현함

$$y = a(x - 2000) + 2000 \quad (1)$$

- 식(1)에서 x 는 측정 값이고, y 는 예측 값이며, a 는 PCA를 통해 얻은 데이터의 기울기 값임
- 도출된 결과 값을 측정값과 예측값 축에서 (2000,2000)을 기준하여 회전시키며, 회전에 사용하는 수식은 식(2)와 같음

$$\begin{bmatrix} x' - 2000 \\ y' - 2000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - 2000 \\ y - 2000 \end{bmatrix} \quad (2)$$

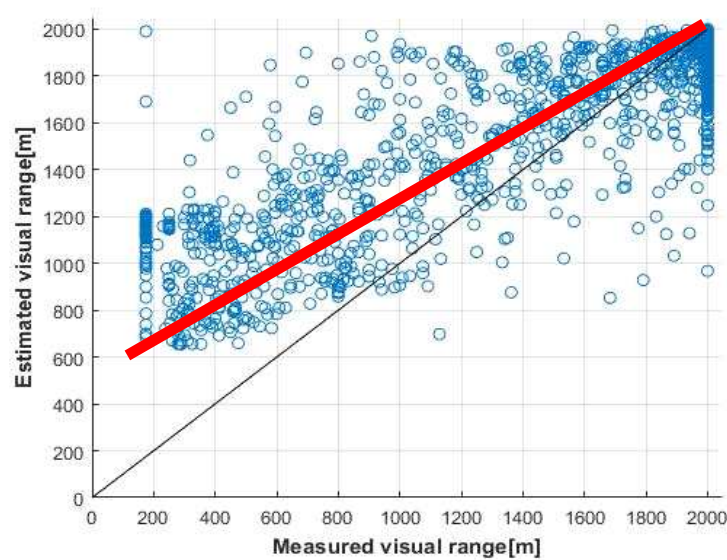
- 식(2)에서 θ 는 데이터의 기울기 a 와 이상적인 경우 기울기인 1사이(45도 대각선)의 각도이며, 식(2)을 통해 새로운 예측 값 y' 은 기존 예측 값 y 를 θ 만큼 회전을 하게 됨
- 식(2)에서 측정값 x 은 1시간 이후의 값이 때문에 예측 값에 식(2)를 직접 적용할 수 없어 식(1)을 이용해 x 의 값을 식(3)과 같이 y 의 값으로 정리한다.

$$x = \frac{1}{a}(y - 2000) + 2000 \quad (3)$$

- 식(3)을 식(2)에 대입하여 식(4)와 같이 실제 모델의 고도화에 활용할 수 있는 식을 도출함

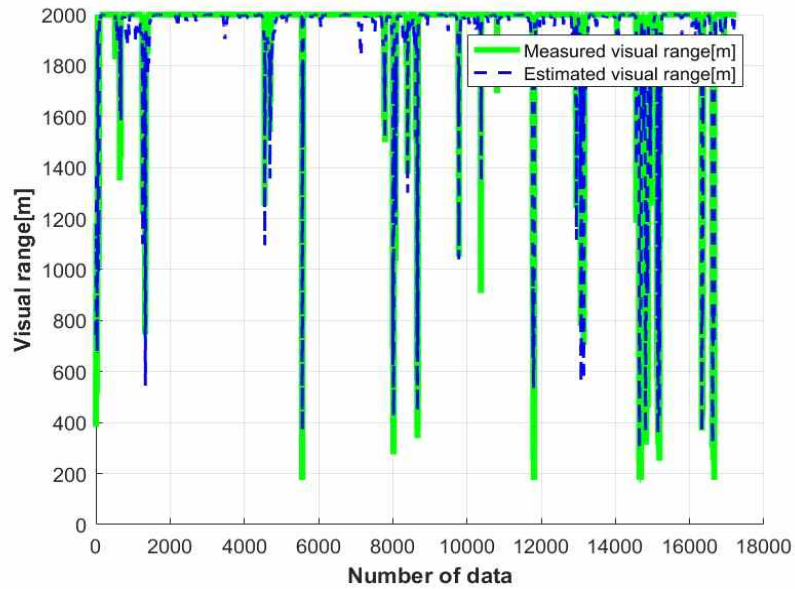
$$\begin{bmatrix} x' - 2000 \\ y' - 2000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{a}(y - 2000) \\ y - 2000 \end{bmatrix} \quad (4)$$

- 식(4)에 적용하는 a , y , θ 값을 계산하고, 이를 식(4)을 통해 새로운 예측 값 y' 을 계산하게 되며, 식(4)을 통해 계산된 예측 값은 기존 예측 값 y 를 θ 만큼 회전함
- 그림은 PCA를 통해 분석한 예측 값과 측정 값의 관계를 확인할 수 있는 그림임



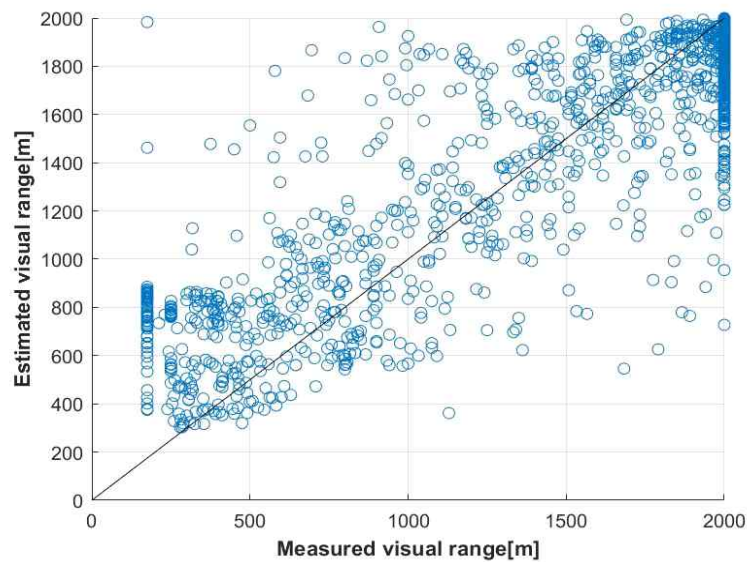
PCA를 활용한 활주로 가시거리 측정값에 대한 예측 값의 1차식으로 표현

- 그림에서 굵은 직선(붉은 색)은 PCA를 적용한 데이터 특성 선으로, 즉 PCA로 데이터의 특성을 반영한 a 값을 구하여, 이를 통해 θ 의 값을 계산함
- 그림에서 계산한 θ 의 값은 13.26도 였으며, 이렇게 얻어진 θ 을 식(4)에 대입해 최초 모델에서 산출된 예측 값을 보정한 새로운 예측 값을 계산함
- 아래 그림은 최초 모델을 보정해 고도화를 실행한 결과로 개선 이전 그림과 비교하면 보정을 한 예측 값이 측정 값의 저시정 상태를 더 정확히 추정하는 것을 확인할 수 있음



식(4)에 의해 계산된 활주로 가시거리의 예측 값(점선)과 측정 값(실선)

- 아래 그림은 보정한 예측 값과 측정 값을 1대 1로 비교한 것으로, 그림7에 비하여 정확도가 개선된 것을 확인할 수 있음



식(4)에 의해 새롭게 계산된 활주로 가시거리의 예측값과 실제 측정값의 1 대 1 비교

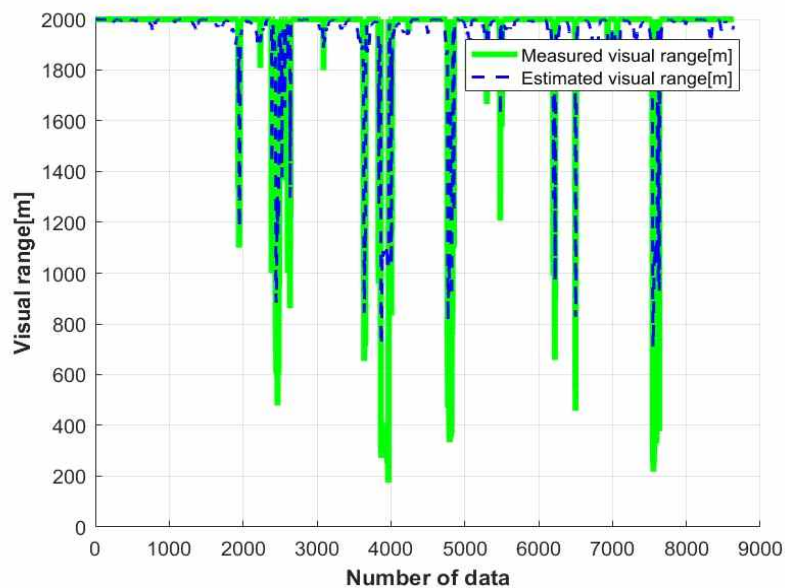
- 표는 보정예측 값과 측정 값을 비교한 Correlation과 RMSE 결과로, Correlation은 변동이 없으나, RMSE는 118.7에서 99.9로 결과가 더 정확해 진 것을 확인할 수 있음

고도화된 모델을 통한 예측 값과 측정 값의 Correlaiton, RMSE 결과

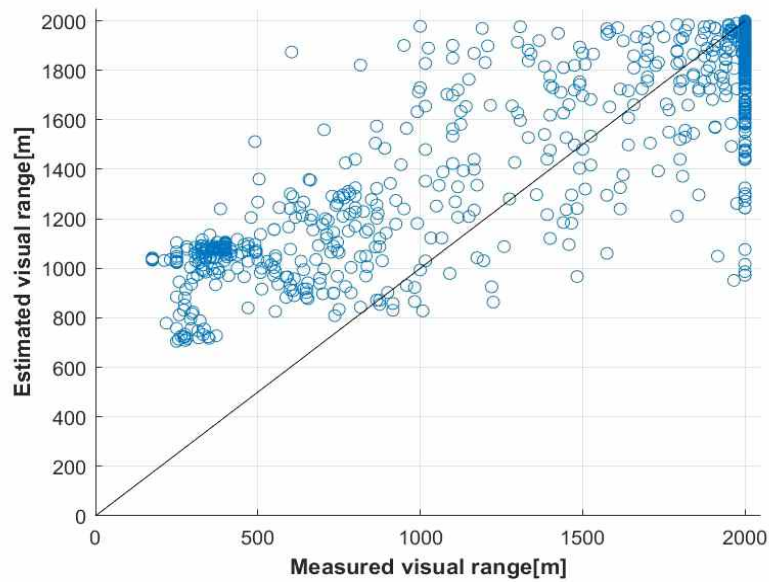
Time interval	Correlation	RMSE
5 min	0.9165	99.9

㉠ 고도화 모델 적용 예측 실행

- 본 연구에서는 제안된 방법론의 활용성을 확인하기 위해 학습에 사용한 데이터 외 별도 기간의 기상 데이터를 활용해 활주로 가시거리 예측을 실행함
- 학습에 사용한 데이터는 2개월 기간의 데이터로, 그 외 별도 1개월 동안의 기상데이터를 사용해 예측을 실행하고, 관측 값과 비교하였음
- 아래 그림 들은 당초 제시된 고도화 이전 모델의 결과임

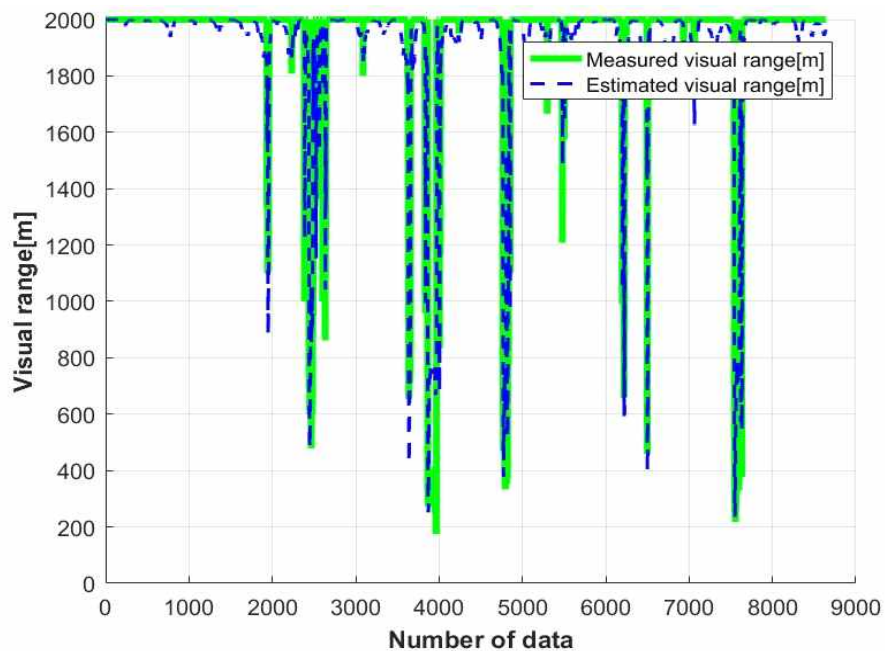


예측 모델만을 이용한 활주로 가시거리 예측 값 (점선)과 측정 값(실선)

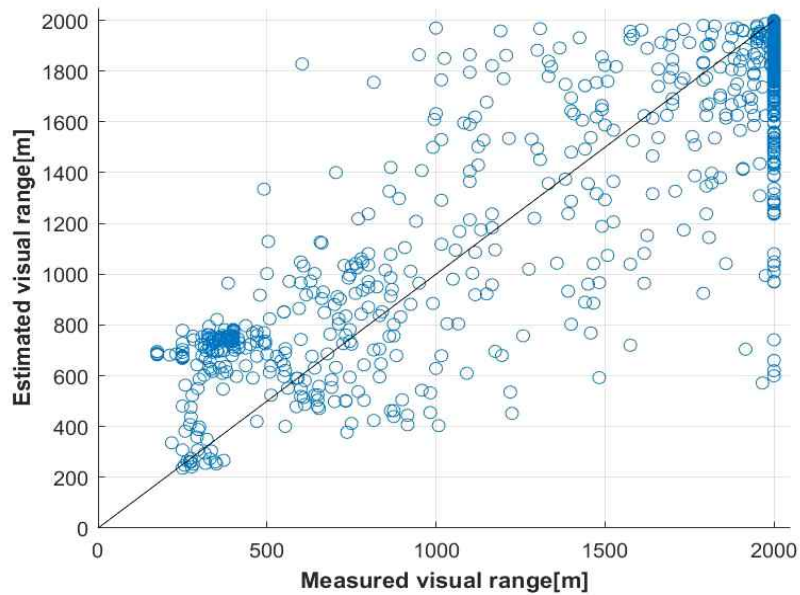


예측 모델만을 이용한 활주로 가시거리 예측 값 측정 값의 1대1 비교

- 상기 그림에서 확인할 수 있듯이 예측 값과 측정 값을 추정하는 추세는 따른다고 할 수 있으나, 시정이 낮은 상태에서는 최저 시정 값을 예측하는 것 오차가 있음을 알 수 있으며 이때의 Correlation은 0.9215 이고, RMSE는 137.3 임
- 아래 그림은 고도화된 모델의 결과임



고도화 모델의 활주로 가시거리 예측 값(점선)과 측정 값(실선)



고도화 모델의 활주로 가시거리 예측 값과 측정 값의 1대1 비교

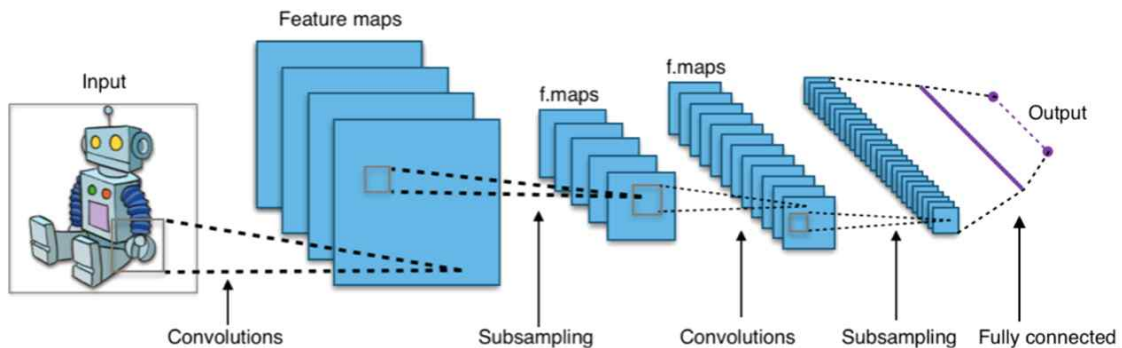
- 그림에서 확인할 수 있듯이 고도화 이전 모델에 비하여 시정이 낮은 상태에서 예측 값과 측정 값의 차이가 줄어든 것을 확인할 수 으며, 이때의 Correlation 0.9214, RMSE 116.9 로 예측 값의 정확도가 개선된 것을 확인할 수 있음

③ 합성곱 신경망 (CNN)

㉔ 합성곱 신경망 개요

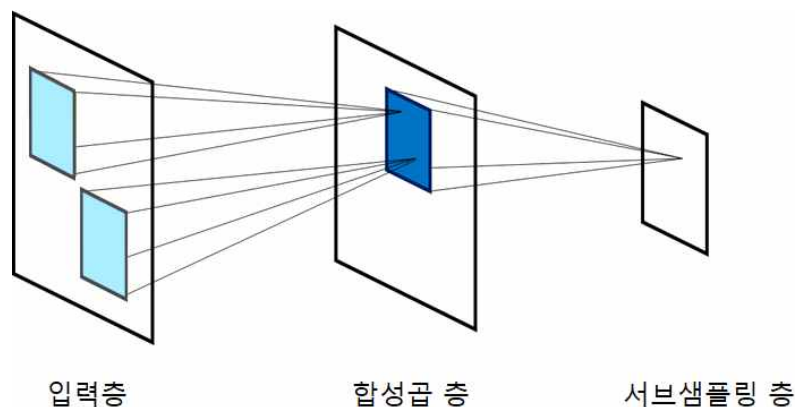
- 합성곱 신경망(Convolutional Neural Networks)은 1995년에 LeCun에 의해 제안된 이미지 인식을 위해 고안된 특수한 연결 구조를 가지는 심층신경망임
- 이미지 인식 뿐 만 아니라 음성 인식, 자연어 처리 등 다양한 곳에서 사용하고 있으며, 일반적으로 인접한 두 개의 층간의 노드들이 서로 완전히 각각 연결된 완전 연결(Fully connected) 구조를 가짐
- 이러한 심층 신경망의 완전연결 구조는 1차원 배열 형태로 한정되어 있어, 3차원 영상에 대해 이론적으로 1차원으로 평면화 시켜 입력 영상의 위상학적 구조를 얻을 수 있으나, 실질적으로는 다차원으로 이루어진 입력 영상에 대해 평면화로 인한 공간 정보 손실로 인한 공간 정보 유실 문제가 발생함

- 완전연결 신경망은 형상을 무시하고 모든 입력 데이터를 동등한 차원으로 취급하기 때문에 형상에 담긴 정보는 손실되며, 이에 합성곱 신경망은 입력 영상의 위상학적 구조를 학습할 수 있도록 신경망 구조를 설계한 것임
- 합성곱 신경망에서는 3차원 이미지 데이터를 입력으로 받아 다음 층으로 3차원 데이터를 전달하고, 이를 위해 합성 신경망에서는 입력 픽셀 영상에 대한 최소한의 전처리를 실행함으로써 다양한 영상 인식에 사용할 수 있음
- 합성곱 신경망은 이미지의 특징 추출하는 영역과 클래스를 분류하는 영역으로 구성되어 있는 모델로 합성곱 신경망의 이미지 특징 추출 영역은 다수의 합성곱 층(convolution layer)과 서브샘플링 층(subsampling layer)으로 구성되어 있으며, 클래스 분류 영역은 완전 연결 층으로 구성됨
- 그림에서 로봇 그림 이미지를 인식하는 과정에 대한 합성곱 신경망의 일반적인 구조를 보여줌



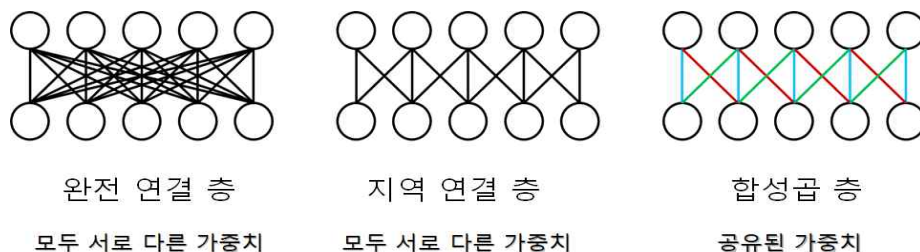
합성곱 신경망의 일반적인 구조 [출처 : wikipedia.org]

- 합성곱 층은 아래 그림과 같이 입력에 대해서 다양한 필터(또는 커널)를 전체 이미지를 지정된 간격으로 순회하며 합성곱을 계산하고, 그 결과를 통하여 특징 맵(feature map)을 구성함



합성곱 신경망의 합성곱 층과 서브샘플링 층

- 필터를 이용한 합성곱은 고차원의 입력 영상에 대한 특징을 추출하는 역할을 수행하며, 입력 영상의 작은 부분 입력에 대해 지정된 간격으로 전체 이미지를 위치를 바꾸어 가며 스캔
- 하나의 합성곱은 적은 수의 연결선을 가지고 위치가 변경되어도 그 연결 가중치는 공유되고, 하나의 합성곱에 대해서는 위치가 바뀌어도 가중치를 공유함으로써 학습할 전체 파라미터의 수를 줄여 주어 문제의 복잡도를 줄여줌
- 서브샘플링(subsampling) 층은 만들어진 특징 맵에 대해서 공간적 해상도를 줄이는 역할을 하며, 즉 서브샘플링은 차원을 축소해주고 이를 통해서 문제의 복잡도를 줄여줌
- 서브샘플링 연산자로 주로 맥스 풀링(max pooling) 연산자나 평균 풀링(average pooling) 연산자를 사용함
- 맥스 풀링(max pooling) 연산자는 일정 영역의 대상 입력값에 대해 최대치만을 취하는 반면, 평균 풀링(average pooling) 연산자는 주어진 영역의 평균치를 갖게되며 이러한 풀링을 통해서 차원을 축소하고 특징 맵의 왜곡이나 이동에 대해 강인하게 됨
- 완전 연결 층, 지역 연결 층과 비교하여 합성곱 층이 어떻게 다른지를 설명함. 완전 연결층은 그림에서 왼쪽과 같이 하나의 층에 있는 모든 노드와 이웃한 층에 있는 모든 노드가 연결됨



완전 연결 층, 지역 연결층, 합성곱 층의 비교

- 예를 들어, 두 층의 노드의 수가 각각 5개씩이라면 두 층간에는 $5 \times 5 = 25$ 개의 연결선이 존재하며 25개의 가중치가 존재하는 반면, 지역 연결 층은 상위층의 노드가 하부층에 있는 일부 노드에만 연결됨
- 상기 그림의 가운데에서 보는 바와 같이, 상위층에 있는 5개의 각 노드는 아래층에 있는 2~3개의 노드들과 연결이 되어 총 13개의 연결선을 가지고, 서로 다른 가중치를 가짐
- 그림의 합성곱 층은 부분 연결 층과 같이 부분적인 연결을 가지지만 상위층 노드들이 서로 가중치를 공유함

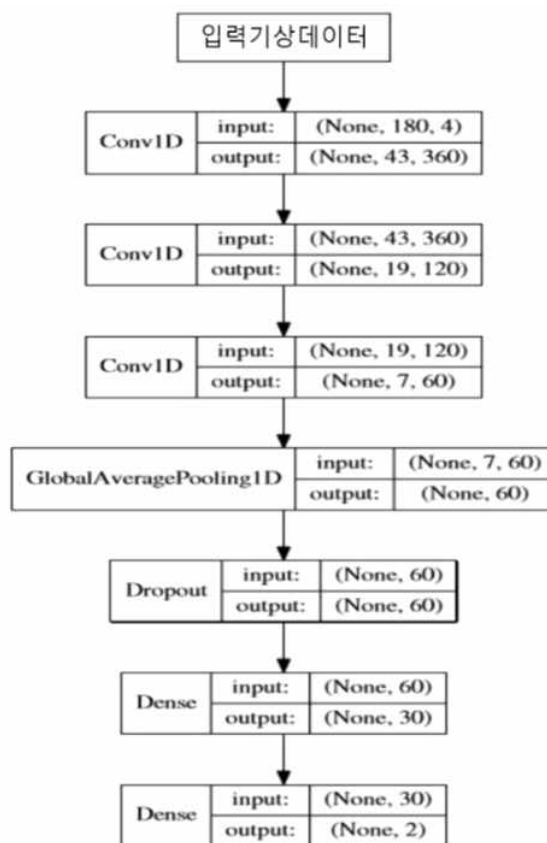
- 즉, 각 상위 층에 있는 노드가 아래층에 있는 세 개의 노드들과 연결된다면, 상위 층에 있는 5개의 노드는 세 개의 가중치만을 공유하므로 연결선은 13개이지만 가중치는 3개임
- 이로 인해 학습할 파라미터의 수를 줄이게 되고, 이런 연결 구조를 통해 위치는 다를지라도 비슷한 특징을 가지는 부분을 추출하게 되어, 입력 이미지에서 물체의 이동과 상관없이 특징을 추출할 수 있음

㉠ 합성곱 신경망 특징

- 기존 심층 신경망은 입력 층과 출력 층 사이의 2개 이상의 은닉층을 가지는 신경망으로, 활성화함수와 역전파 학습 알고리즘을 이용해 기존 단층 퍼셉트론의 과잉학습, 경사 사라짐/폭발과 같은 문제점을 개선하였음
- 심층 신경망에서는 역전파 학습으로 각 노드의 가중치를 최적화해 공간의 왜곡을 이용해 비선형 문제를 선형 문제로 변형해 문제를 풀게 됨
- 이러한 기존 심층 신경망의 문제점은 1차원 완전연결 구조를 가지고 있어 3차원의 영상 데이터에 대해서는 3차원 정보를 1차원으로 변경해 공간의 정보가 손실되게 됨
- 기존 심층 신경망에서는 입력 값의 작은 변화에 대해서도 기존 학습해 놓은 가중치들의 유효성이 낮아지는 문제점을 가짐
- 이에 합성곱 신경망은 기존 차원의 형태를 유지하면서 연산이 이루어져 공간의 정보의 손실이 적으며, 또한 합성곱 신경망은 입력 영상에 대해 위치나 기울기 등에 대한 정보에만 의존하지 않고, 작업의 성공률을 높이기 위해 필터를 사용해 입력 영상의 특징을 뽑아냄
- 이러한 특징들을 결합해 특징 맵을 만들고 이를 토대로 입력 데이터를 파악하게 되며, 이와 같이 합성곱 신경망은 단 하나의 원본 데이터만 가지고 학습을 하는 것이 아니라 다양한 특징 맵을 가지고 학습을 하게 됨
- 또한 합성곱에 사용되는 필터도 역전파 학습을 통해 특징 맵을 잘 구성할 수 있는 필터 값으로 학습이 가능하다는 장점을 가짐
- 마지막으로 서브샘플링을 통해 입력 데이터의 크기 변화, 이동이나 뒤틀림 등의 왜곡에 대한 영향을 축소하고 노이즈를 상쇄하는 장점을 가짐
- 본 연구에서는 이러한 특징을 가지는 합성곱 신경망을 이용해 활주로 가시거리를 예측하게 되며, 입력 기상 정보(풍속, 온도, 습도 및 활주로 가시거리)를 입력 영상과 같은 형태로 구성해 다양한 특징 맵을 만들고, 이 특징 맵을 기반으로 한 시간 이후의 활주로 가시거리 정보를 예측하게 됨

㉔ 합성곱 신경망 적용 예측 모델 개발

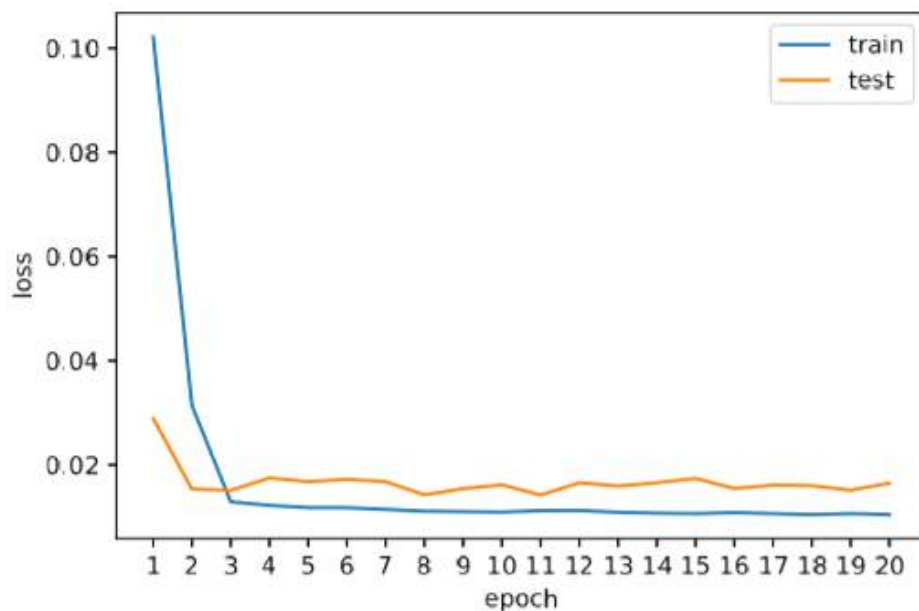
- 본 연구에서는 합성곱 신경망을 활용하여 활주로 가시거리 예측 모델을 제안했음
- 본 예측 모델은 아래 그림에서 같이 3개의 합성곱 층과 2개의 완전히 연결된 신경망 층으로 구성하였으며, 오버피팅을 피하기 위해 평균 풀링 및 드롭아웃 층을 추가함
- 본 예측 모델에서는 과거 3 시간동안의 기상 정보들 (풍속, 온도, 습도 및 활주로 가시거리)을 예측 모델의 입력으로 사용하였고, 본 예측 모델은 1시간 이 후의 활주로 가시거리를 예측함



활주로 가시거리 예측을 위한 합성곱 신경망 모델 구조

- 입력으로 사용되는 기상 정보는 2016년 4월 1일부터 2016년 7월 30일간 한서대학교 태안비행장에서 측정된 데이터로 예측 모델을 만들기 위해서 사용되었음
- 측정된 4달의 기상 정보 데이터 중 80% 데이터(2016년 4월 1일부터 2016년 7월 6일까지)는 예측 모델을 만들기 위해 사용되고, 나머지 20%의 기상 정보 데이터(2016년 7월 7일부터 2016년 7월 30일까지)는 유효성을 검증하기 위해 사용했음

- 본 연구에서 사용되는 기상 정보는 각각 입력 데이터를 영향을 균등화하기 위해 정규화를 시킨 데이터를 사용하였고, 본 합성곱 신경망은 Tensorflow 기반의 Keras API를 사용해 구현되었음
- 최적화는 Adam optimizer를 이용했고, 학습을 위해 NVIDIA Quadro M2200 GPU를 사용했음
- 본 연구에서는 학습반복횟수를 1번부터 20번까지 변화시켜 발생하는 에러를 시뮬레이션 하였으며, 그림은 학습반복횟수에 따른 훈련과 시험 시 발생하는 에러를 보여주는 것으로 훈련과 시험 시 발생 에러는 7번의 학습 반복 횟수부터 작은 값으로 포화되는 경향을 보임

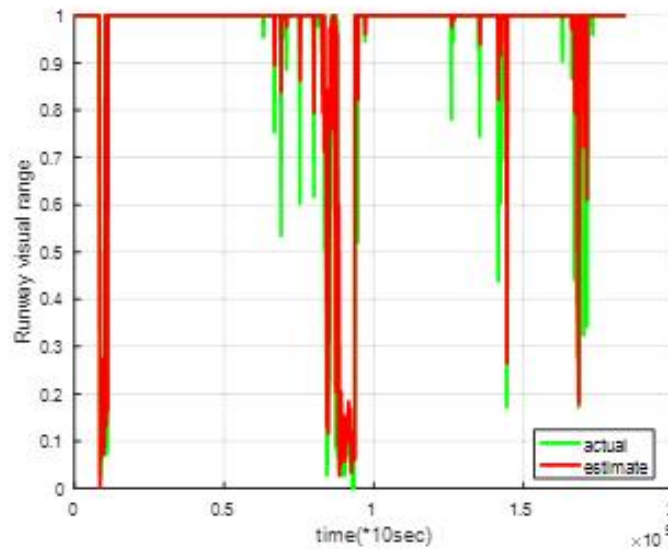


학습반복횟수에 따른 훈련과 시험 시 오차 그래프

- 시험 시 발생하는 오차의 절대값은 1.5% (30분 예측 시 에러 $1.43 \pm 6.22\%$ 와 1시간 예측 시 에러 $1.64 \pm 7.20\%$) 정도임

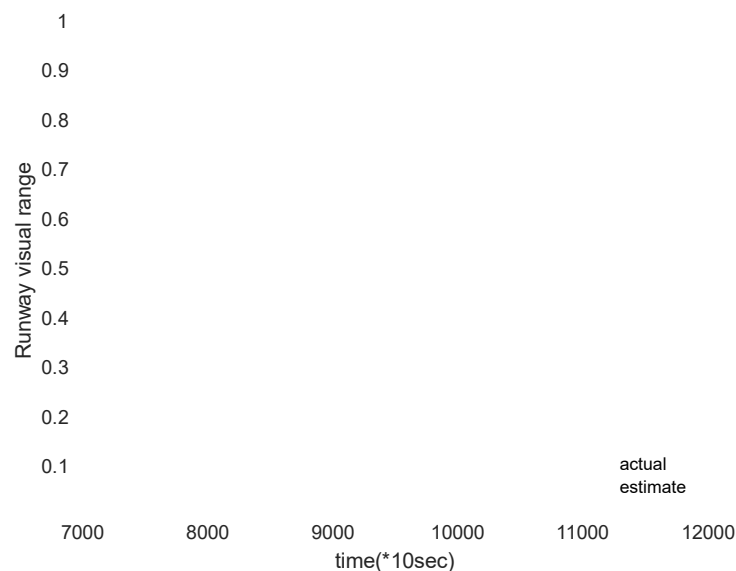
㉠ 실험 결과

- 본 과제에서 한서대학교 태안비행장에서 2016년 7월 7일부터 7월 30일까지 측정된 기상 데이터를 예측 모델의 유효성을 검증하기 위해 사용되었음
- 아래 그림은 24일간의 실제 측정된 활주로 가시거리(녹색)와 제안된 예측 모델을 통해 1시간 이후를 예측한 활주로 가시거리(빨간색)를 나타내며, 그 결과는 최대 크기를 1로 정규화한 결과를 보여줌



24일간 1시간 이후의 예측 활주로 가시거리(녹색)와 실제 측정된 활주로 가시거리(빨간색)

- 그림에서 보이는 바와 같이, 예측된 활주로 가시거리는 한 시간 이후의 활주로 가시거리를 전반적으로 잘 예측할 수 있었으며, 일부 예측하지 못한 부분은 측정된 기기의 측정 한계와 기상 정보의 불확실성으로 인해 발생한 것으로 판단됨
- 본 실험에서의 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Error)는 0.0739였음
- 아래 그림은 상위 그림의 7000번째 tick에서 12000번째 tick을 확대한 그래프임
- 아래 그림에서와 같이, 예측된 활주로 가시거리는 실제 측정된 활주로 가시거리와 비교를 통해 적절한 예측을 한다는 것을 알 수 있음



7000번째 tick에서 12000번째 tick까지의 1시간 이후의 예측 활주로 가시거리(녹색)와 실제 측정된 활주로 가시거리(빨간색)

(5) 통합기상정보서비스 모델 및 시제품 제작

(가) 통합기상정보서비스 시제품(프로토타입) 개요

① 통합기상정보서비스 프로토타입의 목적

- 통합기상정보서비스 프로토타입은 미래항공서비스의 안전 운항과 연관된 기상서비스의 최초 개발 연구이며, 미래항공의 안전한 비행을 위해서는 목적지 또는 이동경로의 기상정보 확인이 반드시 필요하고, 항공전문인력이 아닌 일반 사용자가 기상정보를 쉽고 직관적으로 이해할 수 있는 형태로 제공할 수 있어야 함
- 미래항공서비스인 통합기상정보서비스 프로토타입은 운항 안전을 위하여, 고해상도 수치예보모델자료, AMOS/AWS 관측자료, CCTV 영상, 기상요소의 위험평가 등 시각자료를 종합적으로 활용한 융·복합적인 서비스가 필요하며, 항공정보 데이터와 다양한 대용량 기상정보 데이터를 수집/처리/표출하기 위하여, 시스템을 구축해야 함
- 기상데이터의 종류를 항공기상정보, 수치예보정보, 관측정보로 분류하여 처리하며, 특성이 다른 세 가지 데이터를 하나의 통합된 플랫폼으로 관리하기 위해 각 데이터 종류 별로 일정한 주기로 데이터 수집과 처리를 수행해야 하며, 사용자의 요청에 따라 대용량 기상정보 데이터를 빠르고 직관적이게 보일 수 있도록 해야 함

② 통합기상정보서비스 프로토타입의 달성목표

- 통합기상정보서비스 프로토타입은 미래의 안전 운항을 위해 통합된 기상데이터의 수집/처리/표출을 할 수 있어야 하며, 이러한 과정에서의 시스템 원천기술을 확보해야 함
- 기상 데이터 및 항공 데이터는 형식과 내용이 다양하며 각 데이터의 관리체계가 상이하기 때문에 현재 각 데이터는 서로 다른 정보 전달 인프라를 가지고 있고, 따라서 본 프로토타입은 이 데이터들을 통합하기 위해 효율적인 분류 및 관리 시스템 구축, 데이터 규격의 표준화 등의 기술을 갖추어야 함
- 항공 및 기상의 비전문 인력인 일반 사용자들에게 정보를 쉽고 빠르게 전달하기 위해 다양한 2차원 및 3차원 표출 기술을 갖추어야 하며, 나아가 사용자의 운항 의사결정을 보다 직관적으로 판단할 수 있도록 정보를 적절한 형태로 해석하여 제공할 수 있도록 정보의 표준화 및 해석 기술을 필요로 함
- 사용자 능동적 정보 조회를 위해 각 정보를 체계적으로 분류하고 쉽게 선택할 수 있는 인터페이스를 마련해야 하며, 2차원 혹은 3차원 그래픽을 사용자가 쉽게 조작할 수 있도록 하여 보다 일관되고 간편한 서비스 경험을 제공해야 함

③ 통합기상정보서비스 프로토타입의 구축 및 운영

- 통합기상정보서비스 프로토타입은 사용자(client)에게 Web 기반의 SPA (Single Page Application) 형태로 제공되며, Web 기반 SPA는 웹 앱 및 모바일 앱으로의 확장성, 클라이언트 앱의 기능 확장성과 특정 서버 플랫폼에 대한 비종속성 등의 특징을 가지고 있으며 본 연구개발의 기능적, 성능적 목표를 달성하기에 충분함
- 클라이언트 앱과 서버와의 통신은 기본적으로 JSON 형식을 이용한 REST API를 기본으로 함
- 통합기상정보 사용자 UI는 지도를 기반으로 한 그래픽을 사용했으며, 다중 레이어 구조를 갖추고 있으며, 다양한 데이터를 쉽게 보여주기 위하여 직관적인 디자인을 사용하였으며, 사용자의 사용목적에 맞춰 동적으로 커스터마이징(customize) 되도록 구축함
- 통합기상서비스 프로토타입은 제공 환경을 종합하여 저고도 비행의 기상요소별 지역 지형별 취약점을 분석하고, Risk 분석 및 관리 기법을 적용하여 서비스를 운영하여야 함
- 통합기상서비스 프로토타입의 유효성을 시험하기 위해 시범 비행을 수행하여 기상 관측, 영상, 수치모델 자료 등의 제공 형태를 확인하고, 사용자 능동적 기상정보 요청, 수신 등 처리시스템을 확인하여, 최종 비행운용 적합성을 확인함

(나) 프로토타입 시스템 요구사항

① 요구사항분석의 타겟 사용자

- 기상정보는 안전한 운항을 위해 반드시 필요한 PAV 등 미래 항공 서비스의 가장 중요한 요구사항임
- 기존의 항공기상 서비스 및 운항 시스템은 충분한 훈련을 받은 항공 전문 인력을 타겟으로 하여 제공되고 있음
- PAV는 최소한의 교육으로 각 개인이 자가용으로 사용할 수 있는 항공기이며, PAV 운항을 실제로 하는 일반인 사용자들은 기상 및 항공의 비전문가로서 이러한 서비스를 사용하기 쉽지 않음
- PAV 등 미래항공서비스의 프로토타입인 통합기상정보서비스가 널리 사용되기 위해서는 기상정보를 쉽고 직관적으로 사용자에게 전달하여야 하며, 더 나아가 운항시스템 및 관제시스템이 자동화/지능화가 된 형태로 통합되어 훈련받지 않은 일반인 사용자들도 안전하고 효율적으로 PAV를 운항할 수 있어야 함

- 따라서 통합기상정보서비스 요구사항의 타겟 사용자는 훈련받지 않은 비전문가이며 이를 위한 요구사항을 추출해야 함

② 기능적 요구사항

- 현재의 항공기상 관련 정보시스템들에서 기상정보가 제공되고 활용되는 방식은 대부분의 경우에 자율비행시스템에서 활용되기에는 적합하지 않음
- 기존 서비스들은 전문 기상인력의 분석을 전제로 구성되어 있으며, 정량적(quantitative), 연속적(continuous) 정보보다는 정성적(qualitative), 이산적(discrete) 정보의 형태이며, 정보의 해상도와 발생 빈도에 있어도 다운샘플(down-sample)된 경우가 많기 때문임
- 예를 들어 항공분야에서 사용되는 세계공역예보(World Area Forecast System, WAFS)를 활용하는 경우 전통적으로 기상예보사들이 일정 위험 기상 기준(threshold)을 적용하여 지도 위에 다양한 기상현상들을 표현한 SigWx 차트(Significant Weather Chart)를 기본으로 사용하여 왔지만 수치예보모델의 발전과 컴퓨터 시스템 및 네트워크의 발전에 따라 세계공역예보의 제공 형태는 2010년 이후 SigWx 차트 형식에서 전 세계의 기상현상을 정규 격자(uniform grid)로 샘플링한 스칼라장(scalar field) 또는 벡터장(vector field)으로 표현하는 데이터형인 GRIB(Gridded Binary Format) 형식으로 변화함
- 이는 정규 격자 샘플들로 연속적인 공간을 직접 묘사하는 것이 자동화된 시스템에서 보다 정확한 분석 및 평가를 하는데 더 유리하기 때문이며, 이러한 경향은 거의 모든 종류의 기상정보의 생산에서 공통적으로 적용되고 있으며, 미래의 운항시스템도 이처럼 보다 정량적이고 연속적인 정보를 사용하고 이를 자동화하는 방향으로 나아가야 함
- 그러나 모든 종류의 기상정보가 일관되고 통일된 분석 및 평가체계로 일원화될 수 있는 것은 아니며, 향후 서로 다른 종류의 기상정보들을 통합하는 것이 중요한 문제임
- 예를 들어, 태풍의 영향을 분석하여 특정 운항 계획의 비용과 위험을 평가하기 위해서는 운항 계획 상의 경로를 기반으로 수치예보정보와 함께 태풍의 관측정보 및 예상경로 등을 유기적으로 통합하여 분석하여야 함
- 항공운항에 필요한 기상정보의 활용에 있어서 고려해야 할 정보의 통합은 각 국의 기관 등 다양한 기상정보 제공처간의 생성 정보 통합, 관측 정보와 예측 정보 등 서로 특성이 다른 기상 정보들의 통합, 항공운항 정보와 기상 정보의 통합을 들 수 있음

- 이렇게 통합된 기상 정보는 비행 전 계획단계, 실시간 운항감시 단계, 비행 후 평가 단계에서 각 단계의 목적에 맞는 다른 방식으로 활용될 수 있고, 이를 위해서는 기상정보들이 수집되고 비교 분석될 수 있는 하나의 플랫폼(Platform)을 갖추는 것이 중요함
- 서로 다른 종류의 항공기들은 각자의 요구사항과 비행 패턴과 제약 조건들을 가지고 있지만 통합된 기상정보서비스는 각자의 요구에 맞는 맞춤형 정보 및 분석을 위한 공통된 플랫폼을 제공할 수 있어야 함

③ 성능 요구사항

- 통합기상정보서비스 프로토타입은 미래형 항공에 맞게 기존의 국내외 서비스 보다 진보된 형태로 설계되었으며, 기존 서비스의 성능과 차별점을 두기 위한 방법을 다양한 기상정보의 유기적인 통합, 대용량 기상데이터의 표출과 빠른 처리, 직관적인 이해 및 활용을 위한 완전한 3차원 정보 표출 및 자유로운 맵 프로젝션 지원, 임의 지점 및 경로 등 공간 상 기상정보의 분석 지원의 네 가지로 제시함

④ 주요 요구사항 목록

시스템 요구사항 ID	시스템 요구사항 분류	설명
PAV_R001	지리정보 표출	한반도 주변 지역을 포함한 전 세계의 2D, 3D 지도가 표출됨
PAV_R005	항공지도 표출	비행에 필요한 정보(비행정보구역, 항공로, 지상점 등)가 표출됨
PAV_R007	항공기상정보 표출	세계공역예보(WAFS), 항공기상전문(METAR, TAF, SIGMET 등)과 같은 비행에 필요한 기상정보가 표출됨
PAV_R012	관측기상정보 표출	위성, 레이더, 지점관측정보 등 비행에서 필요시 되는 관측기상정보가 표출됨
PAV_R013	수치예보 기상정보 표출	KMA UM(한국 기상청 현업 수치예보모델)을 이용한 수치예보 기상정보가 표출됨
PAV_R023	비행경로 선택 및 기상상태 평가	비행경로 또는 임의의 지점 및 경로에 대한 기상정보를 조회할 수 있음
PAV_R027	지도 이동 및 검색	다양한 Map Projection과 지도 스타일을 적용할 수 있다. 또한 지점, 비행정보구역, 항공로를 검색할 수 있음

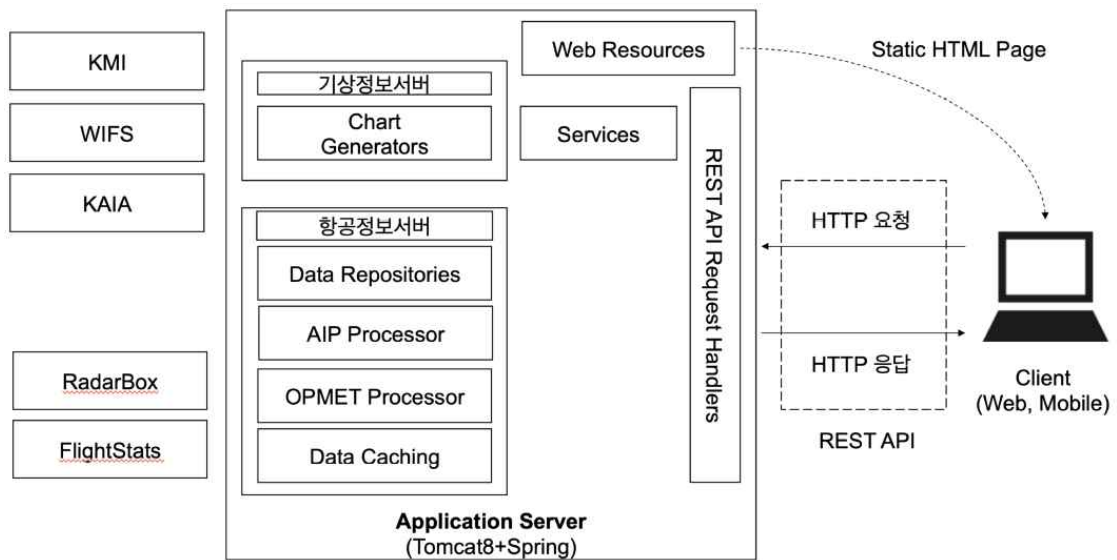
통합기상정보서비스 프로토타입의 주요 요구사항 목록

(다) 프로토타입 설계

① 시스템 아키텍처

㉠ 시스템 구조도

- 통합기상정보서비스 프로토타입 시스템은 필요한 모든 기상자료와 항공자료를 수집 및 가공하여 사용자가 필요로 하는 통합기상정보를 생성, 저장, 표출하는 역할을 수행함
- 본 시스템은 사용자가 웹 브라우저를 통해 쉽게 접근할 수 있도록 웹 서비스 아키텍처를 채택하였으며, 따라서 시스템은 크게 어플리케이션 서버 영역(서버)과 웹 어플리케이션 영역(클라이언트) 으로 나뉨
- 서버 영역은 실시간 기상자료와 항공자료를 다양한 방식으로 수집하고 저장하며, 필요에 따라 이를 가공함
- 서버는 외부로부터 필요한 기상자료 및 항공자료를 수집하기 위해 Push 방식(FTP) 혹은 Pull 방식(Restful Web API, HTTP)을 사용하며, 데이터가 구조화가 되어있지 않거나 다른 데이터와 통합이 필요한 경우, 그리고 데이터 구조의 변환이 필요한 경우에는 서버의 비즈니스 로직에 따라 적절하게 데이터 가공을 수행해야 하며, 수집 및 가공된 정보는 Restful Web API의 형태로 클라이언트에 전달함
- 클라이언트에 전달된 서버 영역은 수집된 기상자료와 항공자료를 저장 역할을 수행하는데 저장하는 형태는 크게 3가지 로 원시 데이터의 직접 저장, 가공 후 캐시 형태의 저장, 데이터베이스를 이용한 저장이고, 기상데이터와 항공데이터는 양과 종류가 많기 때문에 적절한 데이터 관리와 처리속도 향상을 위한 전처리가 필요하다고 볼수 있으며, 시스템에서는 이 목표를 달성하기 위해 원시 데이터와 가공 데이터 저장공간의 분리, 데이터 출처 별 분리, 전처리 결과 캐싱 등의 방법을 적극 활용함
- 클라이언트 영역은 서버로부터 전달받은 각 정보를 표출하는 역할을 수행해야 하며, 표출하는 형태는 텍스트(관측값, 기상전문 등)와 2D 그래픽(차트), 3D 그래픽(3차원 기상 및 항공정보), 영상(CCTV) 등이 존재하며, 클라이언트는 표준 웹 브라우저에서 사용자와 원활한 상호작용을 할 수 있도록 Single Page Application(SPA) 형태로 개발 되었고, 빠르고 쾌적한 3D 그래픽 표출을 위해 WebGL 기술을 채택하여 GPU를 적극 활용 하도록 함

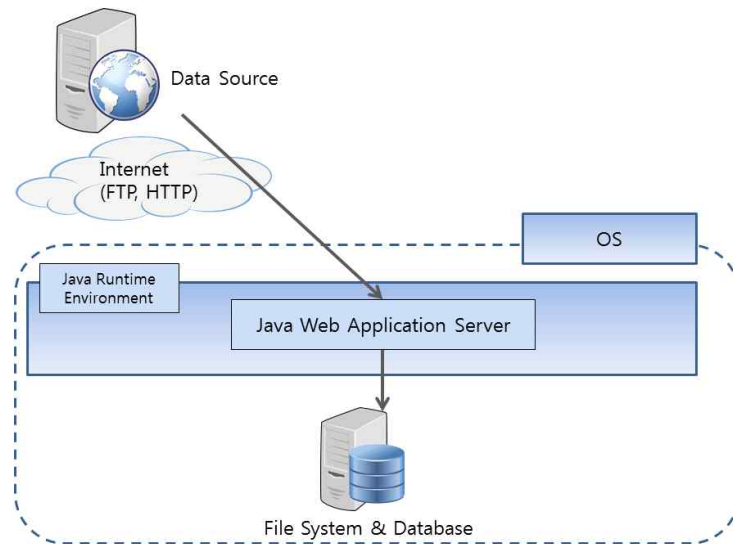


통합기상정보서비스 프로토타입의 시스템 구조도

㉠ 데이터의 수집 및 가공

1) 데이터 수집 처리

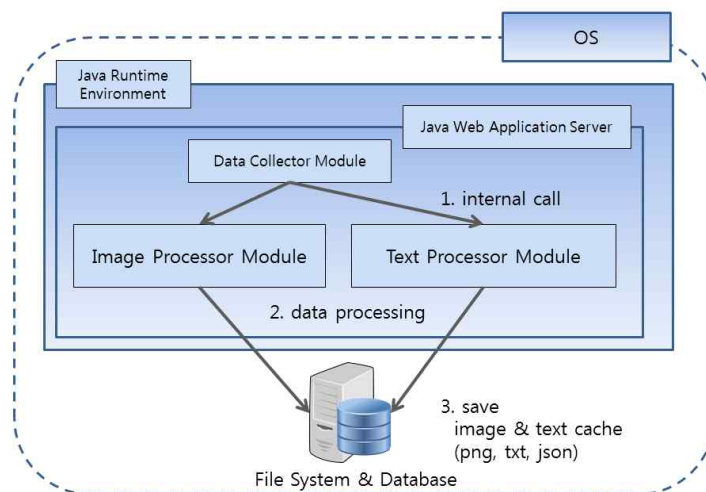
- 데이터 수집은 데이터 제공처의 방식에 맞추어 Push 방식과 Pull 방식으로 수신함
- Push 방식의 경우 FTP(File Transfer Protocol)를 사용하며 제공처에서 파일을 송신하면 어플리케이션 서버는 이를 자동 저장해야 하고, 수신 신호를 받은 즉시 가공하거나, 일정 시간 쌓인 데이터를 주기적으로 가공하거나 사용자 요청시 최신 파일을 찾아 가공하는 세 가지 방법으로 데이터를 가공처리 함
- Pull 방식의 경우 Restful Web API를 이용하며, 어플리케이션 서버가 일정 주기 혹은 사용자의 요청이 있을 때 외부 웹 서버에 데이터를 요청하고, 받는 즉시 가공 및 저장함
- 데이터 처리 주기는 데이터마다 제공 시간 간격이 불균일하기 때문에 제공 시간 간격과 자료의 시간에 대한 민감도에 맞춰 결정함
- 데이터 처리의 효율화를 위해 처리 로그와 캐시 파일을 적극적으로 활용해야 하고, 자주 조회되는 이미지와 텍스트는 미리 처리된 캐시 데이터를 별도로 저장하며, 주기적으로 수집하는 데이터는 원본의 파일명 및 파일 생산시각을 비교하여, 신규 데이터가 생성되었을 때만 데이터를 수신함
- 수집하는 데이터의 구조화와 빠른 조회를 위해 일부 데이터의 경우 데이터베이스화 하여 저장함



통합기상정보서비스 프로토타입 서버의 데이터 수집 구조

2) 데이터 가공 처리

- 가공 처리한 데이터는 /data/wxrepo 의 데이터 소스 별, 변수 별, 기간 별로 구성된 하위 디렉토리에 저장함
- 데이터의 특성에 맞춰 어플리케이션 서버에서 처리되며, 처리 된 결과는 텍스트 혹은 그래픽의 형태로 저장함



통합기상정보서비스 프로토타입 서버의 그래픽 및 텍스트 자료생성 구조

3) 시스템 디렉토리 구조

- 시스템 디렉토리는 처리속도 향상과 데이터 관리의 효율화를 위해 아래와 같은 두 가지 원칙을 기본으로 구성되어 있는데, 첫 번째는 원시데이터와 가공데이터는 별도로 저장하는 원칙이며, 두 번째로는 각 데이터는 출처별로 분리하여 저장함
- 구체적인 구조는 아래 표에 기술함

원 데이터 파일 (/data)		후처리 프로그램 생성 파일 (/data/wxrepo)	후처리 프로그램 생성 파일 (/data/wxrepo)
Local Directory File Name	Local Directory File Name		
wavecloud-store/yyyyMM/yyyyMMdd/um	g512_v070_ergl_pres_h[nnn].yyyyMMddHH.gb2	JAVA application server	field-image/yyyy/MMdd/nwp/yyyyMMddHHmm_[VVVV][EEEEEEE].png
	g512_v070_ergl_unis_h[nnn].yyyyMMddHH.gb2		
wavecloud-store/yyyyMM/yyyyMMdd/sat	coms_le1b_ir1_ch1_nwpn_yyyyyMMddHHmm.bin.gz	JAVA application server	field-image/yyyy/MMdd/satellite/coms_le1b_nwpn_[VVV]yyyyMMddHHmm.png
	coms_le1b_ir2_ch2_nwpn_yyyyyMMddHHmm.bin.g		
	coms_le1b_wv_ch3_nwpn_yyyyyMMddHHmm.bin.gz		
	coms_le1b_swir_ch4_nwpn_yyyyyMMddHHmm.bin.gz		
	coms_le1b_vis_ch5_nwpn_yyyyyMMddHHmm.bin.gz		
wavecloud-store/yyyyMM/yyyyMMdd/radar	RDR_CMP_yyyyyMMddHHmm.bin.gz	JAVA application server	field-image/yyyy/MMdd/radar/RDR_CMP_yyyyyMMddHHmm.png
wifs/wifs/data/BUFR/SIGWX/KWBC	yyyyMMdd_HHmm_[type]_KKCl.bufr	JAVA application server	sigwx/[VVV]yyyyMMddHHmm.json
wavecloud-store/yyyyMM/yyyyMMdd/avi	AMOS_KMA2_[LLL]_yyyyMMddHHmmSS.dat	JAVA application server	sigmet_cache/active_sigmet_cache.txt
	SAK060_KMA_yyyyyMMddHHmm		
	SAK060_KAF_yyyyyMMddHHmm		
wifs/wifs/data/OPMET-HOURLY	yyyyMMdd_HH_OPMET	JAVA application server	

통합기상정보서비스 프로토타입의 관측수집 데이터

○ 항공 수집 데이터 목록

Local Directory	File Name	Data Source
wifs/wifs/data/BUFR/SIGWX/KWBC	yyyyMMdd_HHmm_[type]_KKCl.bufr	https://aviationweather.gov/wifs/data/BUFR/SIGWX/KWBC
wifs/wifs/data/OPMET-HOURLY	yyyyMMdd_HH_OPMET	https://aviationweather.gov/wifs/data/OPMET-HOURLY
wifs/wifs/data/GRIB2/KWBC	yyyyMMdd_HHm[mf][nn].grib2	https://aviationweather.gov/wifs/data/GRIB2/KWBC

통합기상정보서비스 프로토타입의 항공수집 데이터

- 디렉토리명 및 파일명에서 'yyyy' 및 'MM', 'dd', 'HH', 'mm', 'SS' 는 각각 연, 월, 일, 시, 분, 초를 나타냄

- 파일명에서 '[n]'은 예보시간 (hour) 혹은 임의의 숫자 코드를 나타냄
- 파일명에서 '[L]'은 지점코드를 나타냄

○ 항공 수집 데이터 가공

원 데이터 파일 (/data)		후처리 프로그램	생성 파일 (/data/wxrepo)
Local Directory	File Name		
wifs/wifs/data/BUFR/ SIGWX/KWBC	yyyyMMdd_HHmm_[type] _KKCI.bufr	JAVA application serve	sigwx/[VVV]yyyyMMddH Hm.json
wifs/wifs/data/OPMET -HOURLY	yyyyMMdd_HH_OPMET	JAVA application serve	sigmet_cache/active_ sigmet_cache.txt

통합기상정보서비스 프로토타입의 항공 수집 데이터 가공

② 데이터베이스 설계

- 통합기상정보서비스에서 데이터베이스를 사용해 데이터를 영속화하는 부분은 총 세 부분으로 구성되는데, 첫째는 사용자 관리 및 접근권한이며, 웹 서비스를 이용하고 관리하기 위해 필요한 기본적인 영속화 정보임
- 사용자 관리 및 접근권한은 사용자의 기본 계정 정보와 서비스 접근 권한 설정을 저장하고, 접속 지역에 따른 적절한 서비스를 제공하기 위해 접속 지역 정보도 저장함.
- 항공기상전문(OPMET)은 텍스트 데이터의 양이 방대하고 각 데이터가 여러 파일들로 분산화 및 파편화 되어있어, 조회 속도 향상을 위해 데이터베이스화 되어야 하며, 표출을 위한 데이터 전처리 결과를 저장하고 있고, 효율적인 조회 및 관리를 위해 여러 분류 필드를 가지고 있음
- 운항에 필요한 항공 정보(FIR, 공항, 항공로, 지상점)에 필요한 정보인 비행정보구역(FIR; Flight Information Region), 공항(AIRPORT), 항공로(AIRWAY), 지상점(AIRWAYPOINT)를 시스템의 필요에 맞추어 데이터베이스화 하였고, 공항의 위험 기상 상태를 평가하기 위해 각 공항의 위험기상 상태 기준 또한 AIRPORT_MONITOR 테이블에 별도로 저장하였음

㉠ 사용자 관리 및 접근권한 스키마(엔티티 다이어그램)

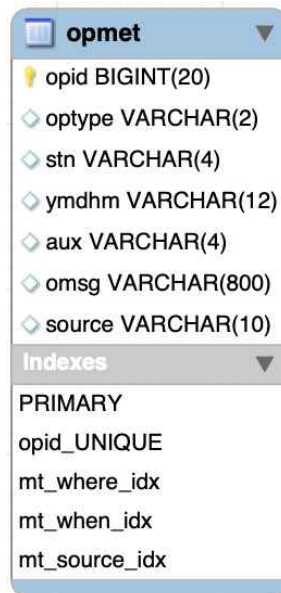
Column Name	Data Type
xuid	VARCHAR(40)
uname	VARCHAR(20)
fname	VARCHAR(20)
lname	VARCHAR(20)
passh	VARCHAR(60)
stat	VARCHAR(16)
role	VARCHAR(16)
alid	VARCHAR(3)
lang	VARCHAR(2)
ref	VARCHAR(40)
org	VARCHAR(40)
cmmt	VARCHAR(45)
signdate	DATETIME
logindate	DATETIME
loginaddr	VARCHAR(32)
zone	VARCHAR(2)

Index Name	Index Type
PRIMARY	PRIMARY
xuid_UNIQUE	UNIQUE
xuser_signdate_idx	INDEX
xuser_org_idx	INDEX
xuser_fname_idx	INDEX
xuser_lname_idx	INDEX
xuser_uname_idx	INDEX

㉡ 사용자 관리 및 접근권한 통제 테이블

컬럼명	설명	키유형
xuid	사용자 아이디	PK
uname	사용자 이름	
fname	이름(first name)	
lname	성(last name)	
passh	비밀번호	
stat	사용자 상태	
role	사용자 권한	
alid	항공사 ICAO 코드	
lang	사용자 언어	
ref	reference(추천인)	
org	사용자 소속 회사	
cmmt	사용자 소개	
signdate	가입일	
logindate	사용자 최근 로그인 날짜	
loginaddr	사용자 최근 로그인 주소(IP 주소)	
zone	사용자 접속 지역 코드	

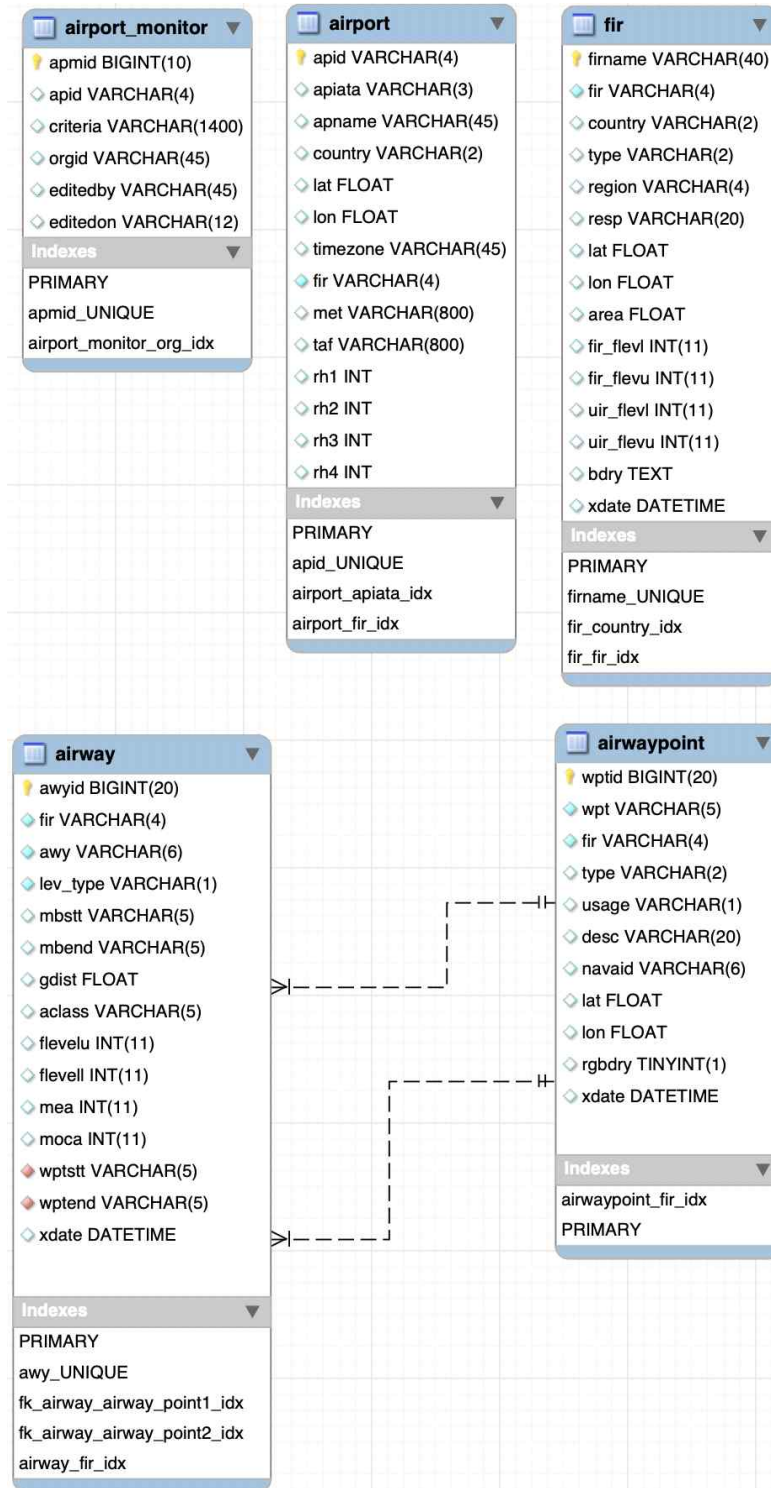
㉔ 기상정보 스키마 (엔티티 다이어그램)



㉕ 기상정보 테이블

컬럼명	설명	키유형
opid	데이터베이스에서 정의한 항공기상 전문 메시지 아이디	PK
optype	메시지타입: met, taf, speci, sigmet, airmet	
stn	ICAO 공항코드	
ymdhm	해당 메시지 발생 타임스탬프	
aux	auxiliary information. [AUTO COR(Correct) AMD(amend)]	
omsg	항공기상 전문 메시지의 전체 텍스트	
source	항공기상 전문 메시지 분류용 날짜 (yyyyMMddHH)	

㉑ 운항정보 스키마 (엔티티 다이어그램)



㉔ 운항정보 테이블

○ 관측지점 : 공항

컬럼명	설명	키유형
apid	ICAO 공항코드	PK
apiata	IATA 공항코드	
apname	공항 이름	
country	해당 공항의 국가 코드(ISO_3166-1)	
lat	해당 공항 위도	
lon	해당 공항 경도	
timezone	해당 공항 타임존	
fir	해당 공항의 비행정보구역 ICAO 코드	
met	해당 공항의 최신 METAR	
taf	해당 공항의 최신 TAF	
rh1	해당 공항의 활주로1 방향	
rh2	해당 공항의 활주로2 방향	
rh3	해당 공항의 활주로3 방향	
rh4	해당 공항의 활주로4 방향	

○ 관측지점 모니터

컬럼명	설명	키유형
apmid	데이터베이스에서 정의하는 공항 모니터의 아이디	PK
apid	ICAO 공항 코드	
criteria	해당 공항을 설정한 임계값	
orgid	임계값을 설정하기 위한 기관 식별자	
editedby	편집자 계정	
editedon	편집 시간	

○ FIR

컬럼명	설명	키유형
firname	FIR full name	PK
fir	FIR ICAO 코드	
country	국가코드	
type	FIR/UIR	
region	APAC air navigation plan(ANP) region	
resp	General Responsibilities of each Regional Office	
lat	FIR 중심점 위도	
lon	FIR 중심점 경도	
area	FIR Area as km square	
fir_flevl	Flight level of lower fir limit	
fir_flevu	Flight level of upper fir limit	
uir_flevl	Flight level of lower uir limit	
uir_flevu	Flight level of upper uir limit	
bdry	Boundary info as geojson	
xdate	데이터 갱신일	

○ Airway

컬럼명	설명	키유형
awy	Airway name	PK
fir	FIR ICAO code	FK
seqnum	Sequence number	FK
lev_type	FIR/UIR	
mbstt	Magnetic bearing of segment start point	
mbend	Magnetic bearing of segment end point	
gdist	Geodesic distance of airway	
flevelu	FL(Flight Level) of upper limit	
flevell	FL(Flight Level) of lower limit	
mea	Minimum en-route altitude	
moca	Minimum obstacle clearance altitude	
wpt1	시작 waypoint 식별자	
wpt1_type	시작 waypoint 타입	
wpt1_lon	시작 waypoint 경도	
wpt1_lat	시작 waypoint 위도	
wpt2	종료 waypoint 식별자	
wpt2_type	종료 waypoint 타입	
wpt2_lon	종료 waypoint 경도	
wpt2_lat	종료 waypoint 위도	
direction	Sequence 방향	
bidirect	단방향/양방향 타입	
cruise_lv	순항고도 타입	
xdate	데이터 갱신일	

○ Waypoint

컬럼명	설명	키유형
wpt	Waypoint name	PK
fir	FIR ICAO code	FK
type	Waypoint type	
wptusage	Waypoint usage	
wptdesc	Waypoint Description	
navaid	Waypoint Navigation Aid type	
lat	Latitude	
lon	Longitude	
rgbdry	Is in region boundary	
xdate	데이터 갱신일	

③ 서버 및 서버 API 설계

- 통합기상정보서비스 프로토타입에서는 불특정 다수의 일반사용자들을 대상으로 매우 규모가 큰 기상정보와 운항정보를 빠르고 효율적으로 서비스를 제공할 수 있어야 함
- 빠르고 효율적인 서비스를 위해서는 서버와 클라이언트의 적절한 역할 구분이 필요하며, 이에 본 프로토타입은 여러 요청에 대해 병목이 쉽게 생길 수 있는 서버는 공통작업 또는 전처리 작업을 주로 처리하고, 클라이언트에 위임할 수 있는 작업은

위임함으로써 서버의 연산비용을 최소화 하고 사용자(클라이언트)의 연산능력을 최대한 활용하는 방향으로 설계하였음

- 서버의 연산비용을 최소화 하는 방법을 예를 들면, 대용량의 수치예보 기상정보들을 표출하기 위해서 서버는 Loseless 방식으로 압축된 필드(스칼라장 또는 벡터장) 이미지(PNG; Portable Network Graphics)로 클라이언트에 제공하는데, 이 때 스칼라 및 벡터 필드 이미지의 구체적인 값들을 PNG 이미지의 PNG 채널에 24비트(scalar field 이 경우) 또는 16비트(vector field 의 경우)로 인코딩되며 클라이언트는 이를 디코딩 하여 적절한 후처리 후 표출하게 됨
- 서버와 사용자(클라이언트)와의 통신은 기본적으로 JSON 형식을 이용한 Restful Web API를 기본으로 함

㉓ 소프트웨어 스택

- 서버의 소프트웨어는 웹 어플리케이션 서버를 위한 스택으로 구성
- 리눅스 서버와 Java 기반의 웹 기술스택을 채택
- 향후 시스템 변경 및 기능 추가에 제약이 없도록 오픈소스 라이선스를 채택한 소프트웨어를 사용

구분	소프트웨어	버전
OS	Ubuntu	16.04.04 LTS
Programming Language	JAVA	1.8
Web Application Server	Apache Tomcat	8.5.37
Web Application Framework	Spring Framework	4.2.8
Database	Mysql Community Edition	5.7.20
Build Tool	Maven	3.5.2
Development Tool	Eclipse Oxygen	4.7.1

통합기상정보서비스 프로토타입 서버의 소프트웨어 스택

㉔ 서비스 API

- 서비스 API(Application Programming Interface)는 리소스 중심의 표현, 전달, 접근 방식의 특성을 갖는 아키텍처인 Restful Web API 방식을 채택
- 채택한 Restful Web API 방식은 클라이언트에서 채택한 SPA(Single Page Application)와 결합하여 간결하고 쉽게 확장 가능한 서비스를 가능하게 하고, 각 API는 제공되는 정보를 명확하고 간결하게 알 수 있는 적절한 URI(Uniform Resource Identifier)를 통해 제공 됨

㉔ 서버 API 종류

○ 사용자 관리 및 접근권한 통제

REST API 명	HTTP Method	API	Parameters	설명
로그인	POST	/auth/login	userid, userpw	사용자 로그인
로그아웃	POST	/auth/logout		로그아웃
세션정보	GET	/auth/session		세션정보 조회
사용자 설정	GET	/auth/preference		사용자 환경설정
사용자계정 조회	GET	/xadm/user/user_list	stern,org,period:P	사용자 계정 조회
사용자계정 생성	POST	/xadm/user/user_c	xuid,pass,role,alid,uname, fname,lname,stat,org,ref,commt	사용자 계정 생성(role 지정 가능)
사용자계정 수정	POST	/xadm/user/user_u	xuid,pass,role,alid,uname, fname,lname,stat,org,ref,commt	사용자 계정 수정(role 지정 가능)
사용자계정 삭제	POST	/xadm/user/user_d	xuid	사용자 계정 삭제

○ 주요 기상정보 API

REST API 명	HTTP Method	API	Parameters	설명
수치예보 기상정보	GET	/api/wx/nwp/field_image	var,lev,hour	NWP Temperature Image Reference
수치예보 기상정보	GET	/api/wx/nwp/field_image	var,lev,hour	NWP Atmospheric pressure Image Reference
수치예보 기상정보	GET	/api/wx/nwp/field_image	var,lev,hour	NWP Wind Image Reference

○ 주요 운항정보 API

REST API 명	HTTP Method	API	Parameters	설명
Flight Status Ref	GET	/fltracker/api/flight/status_list		Flight Status Reference
Flight History Ref	GET	/fltracker/api/flight/hist_list	flid	Flight History Reference

④ 클라이언트 및 화면 설계

- 통합기상정보서비스는 통합된 항공기상정보를 보여주기 위해 수치예보모델 데이터 및 기타 관측된 기상정보와 함께 운항정보를 통합하여 지원하여야 하며, 사전 비행 계획 단계와 실시간 운행단계 등 미래항공에 모든 단계에서 일반 사용자들이 쉽게 항공기상정보를 활용할 수 있도록 지원해야 함

- 통합기상정보서비스에서 활용하고자 하는 항공 관련정보는 첫 번째로 실시간 항공 트래픽 상황, 두 번째는 특정 항공기의 비행계획, 마지막으로 특정 항공기의 실시간 항적 정보 등을 포함
- 통합기상정보 시스템에서 활용하고자 하는 기상 관련정보는, 첫 번째로 실시간 지상 관측 데이터, 두 번째는 수치예보모델 데이터, 세 번째는 실시간 PAV 관측 데이터, 마지막으로 기상 예보/경보/특보 등 이 있음
- 관련 정보의 내용과 형식들이 다양하고 각 정보의 관리체계도 다르기 때문에, 각각의 정보들은 통합하여 사용자가 유연하게 사용할 수 있어야 함

㉑ 소프트웨어 스택

- 사용자와의 동적 상호작용을 위해 Single Page Application(SPA)으로 구성함
- 빠르고 원활한 3D 렌더링을 위해 WebGL과 GLSL(shader programming)을 사용함
- 표준 Web 브라우저 (Google Chrome)을 기반함
- 웹 표준 기술(HTML5, CSS3, ECMAScript5.0 이상)을 사용

구분	소프트웨어	버전
Web Browser	Google Chrome	>=60
Programming	Javascript, Typescript	3.1.6
Single Page Application Framework	Angular	7.2.0
Package Manager	Node Package Manager	6.5.0
Build Tool	Webpack	4.23.1
Development Tool	Visual Studio Code	1.30.2

통합기상정보서비스 프로토타입의 소프트웨어 스택

㉒ 통합기상정보서비스 화면 설계 목록

화면 종류	화면 이름	설명
초기화면	기본정보 화면	통합기상정보서비스의 기본 초기화면
지도정보	지도정보 설정 화면	지도설정을 할 수 있으며, 기본적 정보 표출
지도정보	항공지도 정보 화면	항공지도 표출
기상정보 설정	통합기상정보 설정 화면	통합기상정보 설정(관측, 항공기상, 수치예보 등)
기상정보	항공기상정보 화면	항공 기상정보 표출
기상정보	관측지점 정보 화면	공항상태 및 공항 상세정보 표출
기상정보	관측기상 정보 화면(1)	AMOS 표출
기상정보	관측기상 정보 화면(2)	AWS 표출
기상정보	관측기상 정보 화면(3)	CCTV 표출
기상정보	관측기상 정보 화면(4)	위성 채널별 정보 표출
기상정보	관측기상 정보 화면(5)	레이더 정보 표출
기상정보	수치예보정보 화면(1)	수치예보 변수별 스칼라장을 표출할 수 있으며, 등고선 표출

기상정보	수치예보정보 화면(2)	벡터장의 바람 표출방식을 표출(Wind Arrow, Wind Barb, Wind Particle)
운항정보	비행정보 화면	비행정보 및 운항 상세정보 표출
운항정보	비행경로 선택 및 기상상태 평가 화면	비행경로의 기상상태 평가
기상정보	임의의 지점 기상상태 평가 화면(1)	Skew-T log-P chart 표출
기상정보	임의의 지점 기상상태 평가 화면(2)	Meteogram chart 표출
기상정보	임의의 지점 기상상태 평가 화면(3)	Airgram chart 표출
기타화면	사용자 편집 화면	지점/선/영역 등 사용자 편집

㉔ 통합기상정보서비스 주요화면(기본화면)



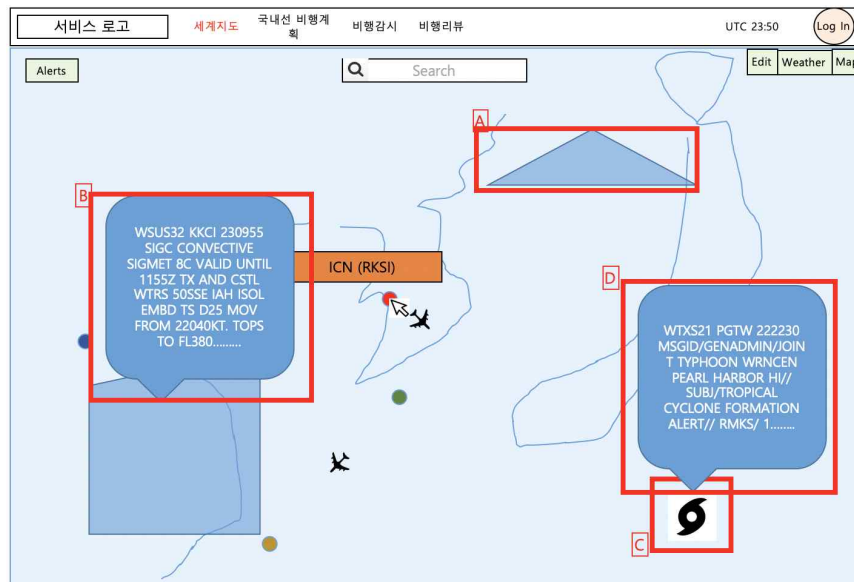
목적	실시간 비행정보 및 운항 상세정보를 확인할 수 있어야 하며, 비행경로의 기상현상을 표출
설명	실시간 비행정보 표출 비행정보 클릭시 운항정보에 대한 상세정보를 확인

㉠ 통합기상정보서비스 주요화면(항공지도 정보 화면)



목적	항공지도 표출
설명	항공정보간행물(AIP: Aeronautical Information Publication)의 aerodrome, waypoint 및 항로 정보를 표출 FIR 표출

㉡ 통합기상정보서비스 주요화면(항공기상정보 화면)



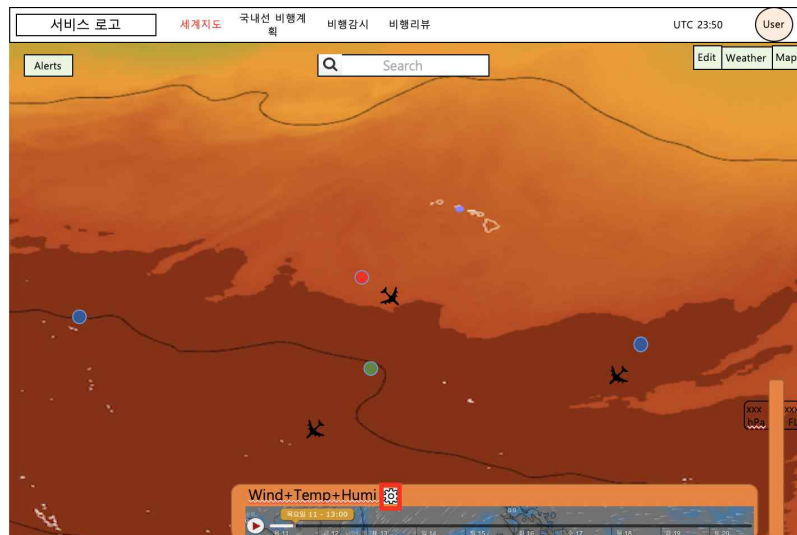
목적	항공기상데이터 표출
설명	항공기상 데이터 정보의 영역을 표출할 수 있어야 하며, 확인할 수 있어야 함

㉞ 통합기상정보서비스 주요화면(관측지점 상태 화면)



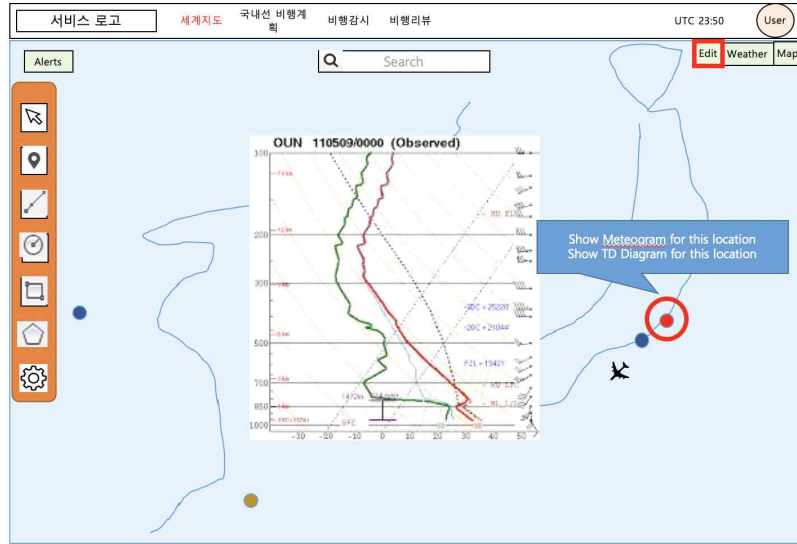
목적	관측기상정보 표출
설명	관측기상정보인 위성 채널 데이터 표출 시간별 위성 채널 데이터 표출 위성채널 데이터의 컬러맵 표출

㉟ 통합기상정보서비스 주요화면(수치예보 상태 화면 + 등치선 + 컬러맵)



목적	수치예보모델 데이터 표출
설명	수치예보데이터의 변수별 데이터 표출 수치예보데이터의 컬러맵 표출 수치예보데이터의 시간별 표출 수치예보데이터의 고도별 표출 수치예보데이터의 시각화를 위한 등치선 표출

㉠ 통합기상정보서비스 주요화면 (임의의 지점 기상상태평가 및 비행경로 평가화면)



목적	임의의 지점 기상상태 평가 및 정보 확인
설명	사용자편집에서 임의의 지점 확인 임의의 지점 팝오버 정보 확인 팝오버에서 사용자의 Skew-T Log-P 차트정보 확인

(라) 프로토타입 시험운영 및 평가

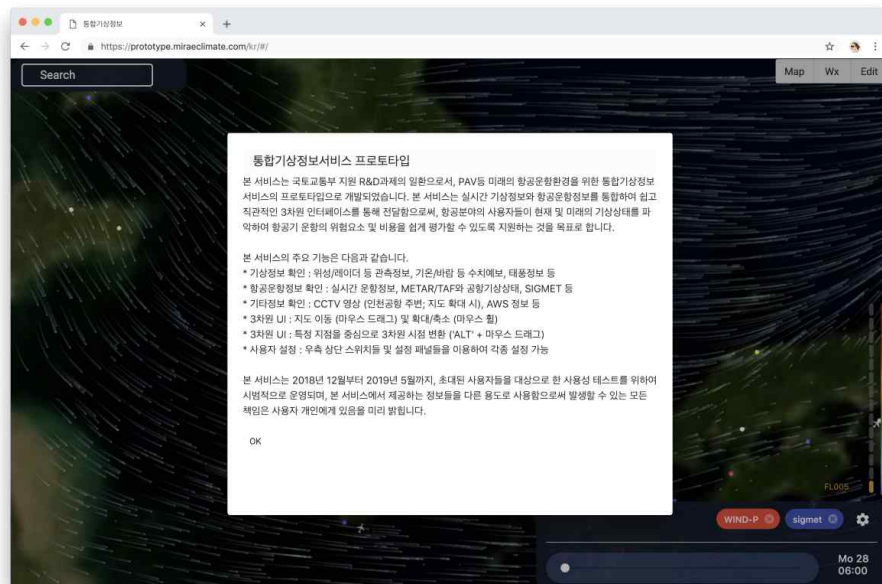
① 프로토타입 시범운영 개요

- 앞에서 설명한 바와 같이, 본 연구에서는 항공운항정보와 기상정보가 통합된 3차원 통합기상정보서비스의 프로토타입을 개발하고 테스트를 위한 시범운영을 실시하고 있음
- 시범운영기간 : 2018년 12월 ~ 2019년 5월
- 시범운영URL : prototype.miraecclimate.com
- 상기 시범운영기간동안 해당 웹서비스는 실질적으로 누구나 어디서든 접속할 수 있지만, 본 연구의 프로토타입 테스트 취지에 따라 일반에 공개하지는 않으며, 항공 관련 전문가들(항공사 운항관리사, 운항승무원, 항공관련 연구자 등)을 비공개 초대하여 사용자 테스트를 수행하고 서비스 내용 및 정보의 완결성 여부에 대한 피드백을 수집

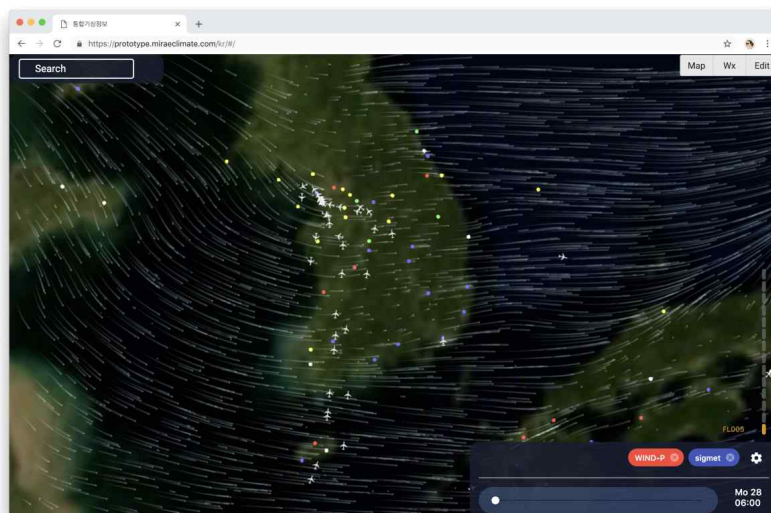
② 화면 구성 및 주요 기능

- 본 연구를 통해 개발되고 시범운영 중인 상기 통합기상정보서비스 프로토타입의 주요 화면들을 다음과 같음

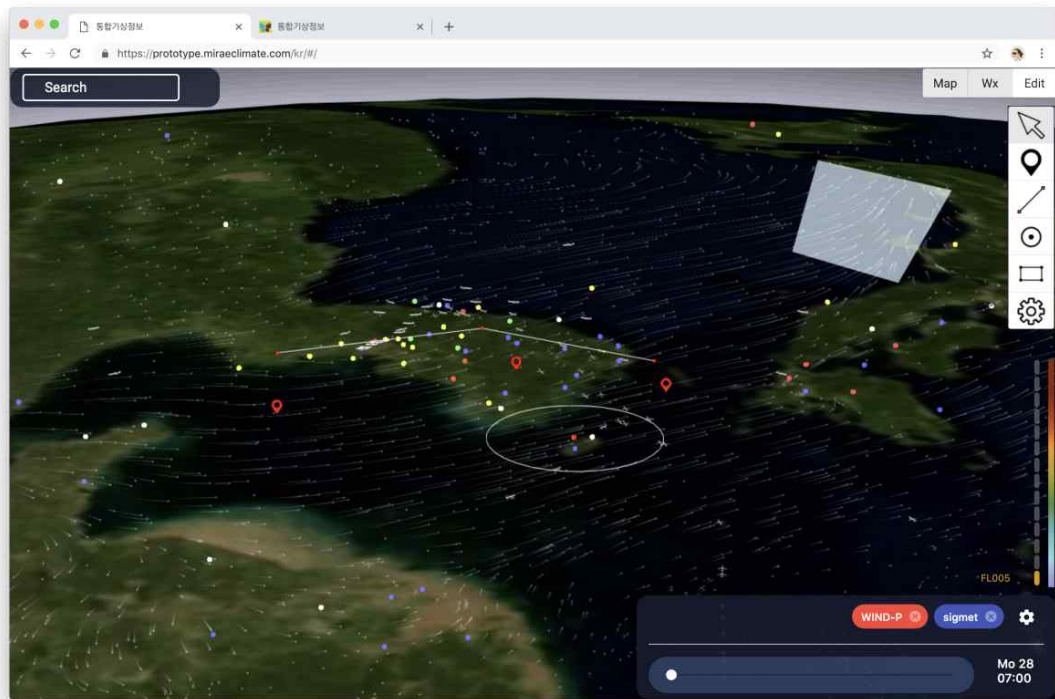
㉠ 초기화면



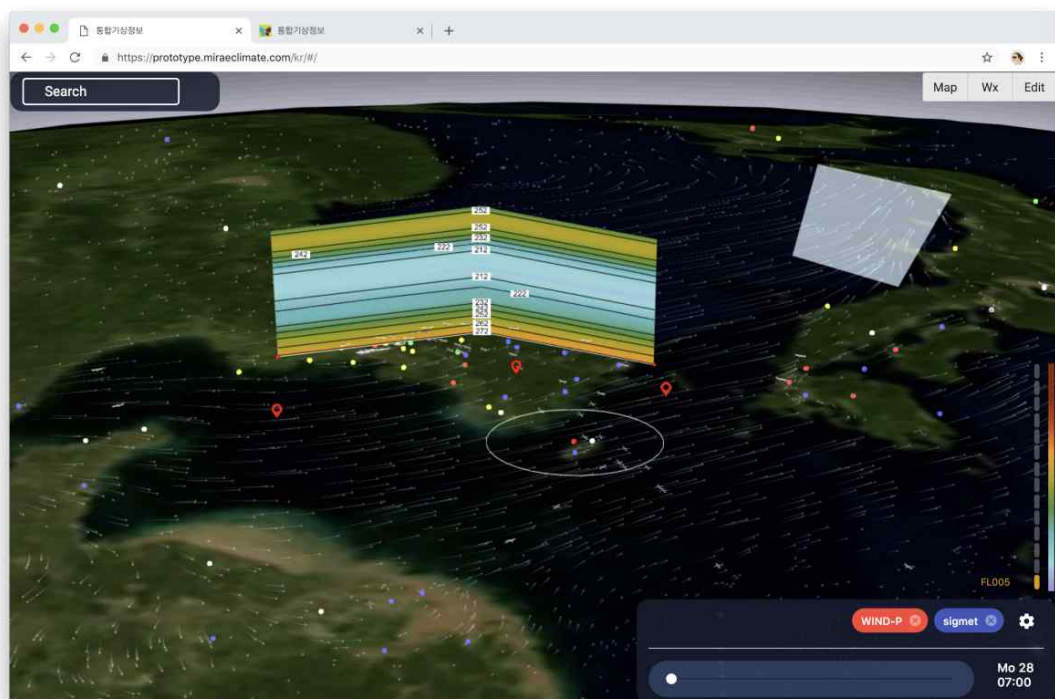
㉡ 초기화면 (항공기 운항정보 + 기상관측지점 기상상태 + 수치예보 바람장 애니메이션)



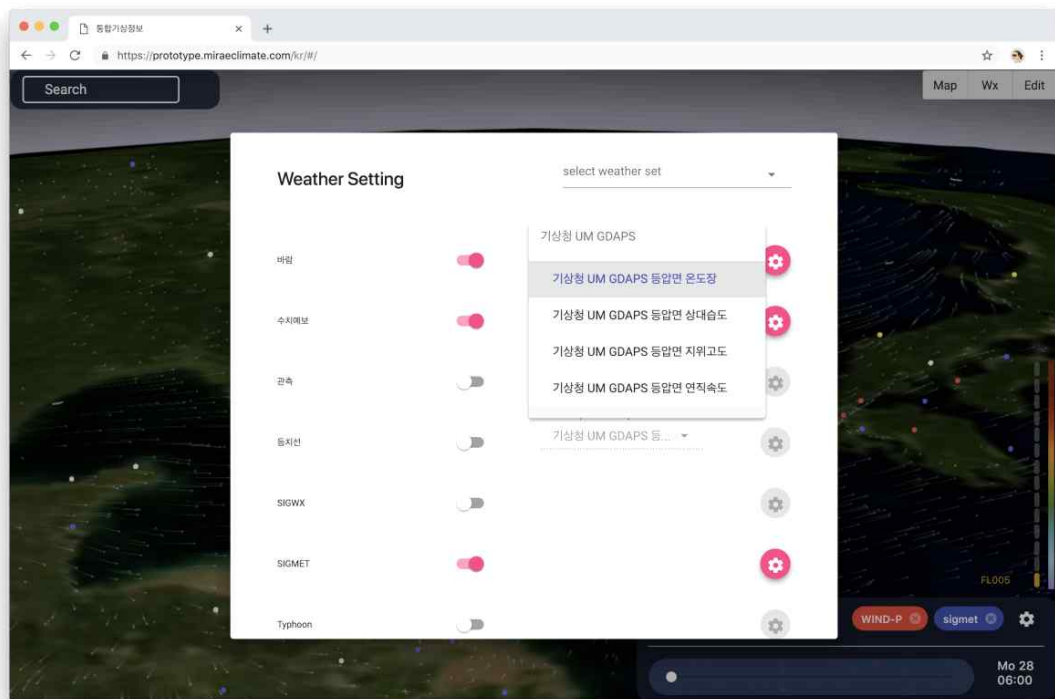
㉔ 인터랙티브 카메라 콘트롤 및 사용자지정 임의 경로 설정



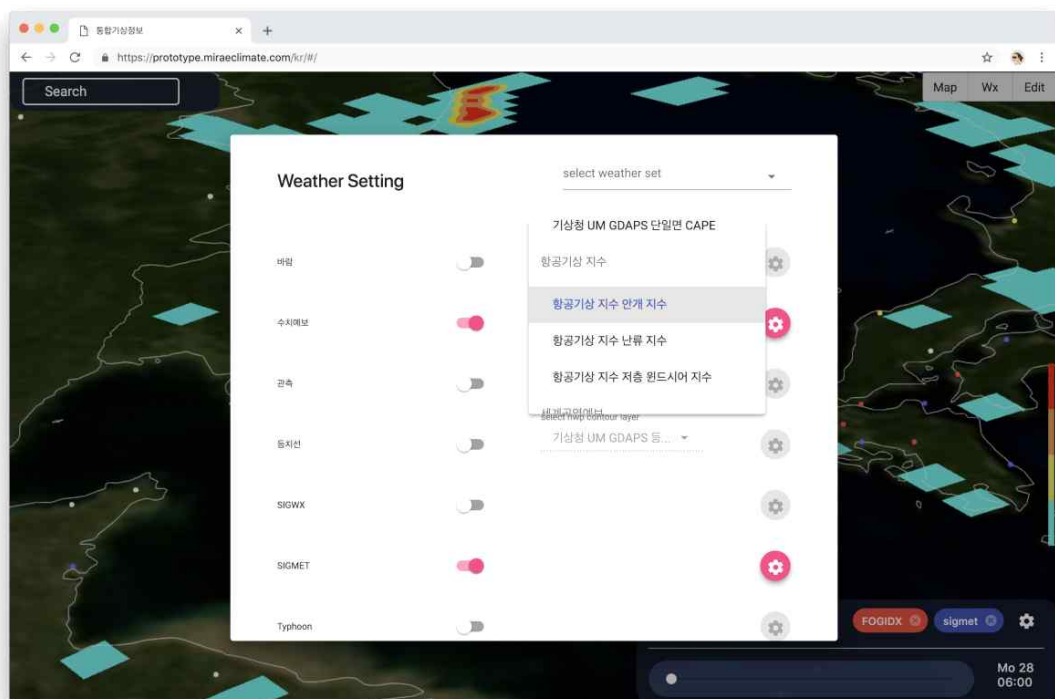
㉕ 임의경로/비행경로 상의 고도별 기상정보 연직단면도 표출 예 (고도 5배 확대 시)



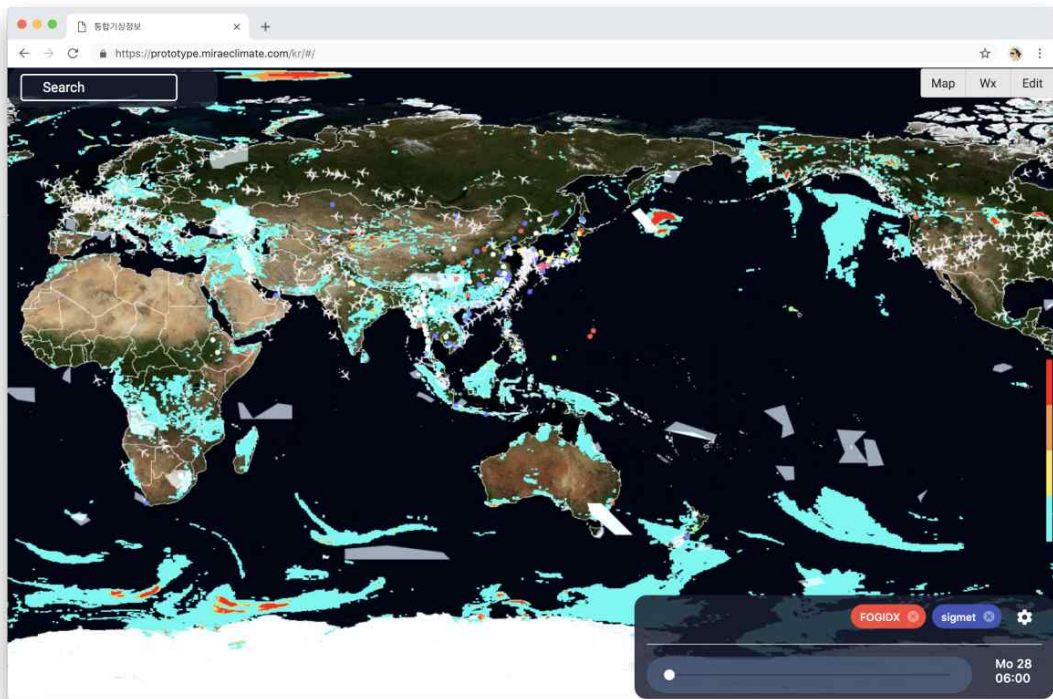
㉓ 기상정보 표출여부 설정 화면



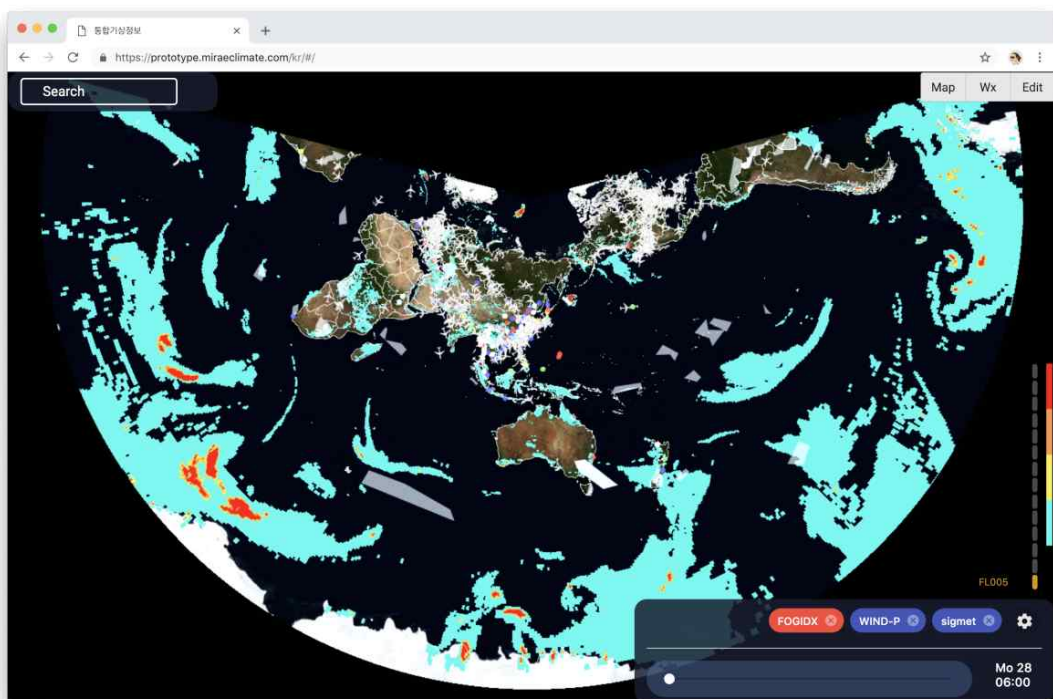
㉔ 항공기상 지수 표출여부 설정 화면



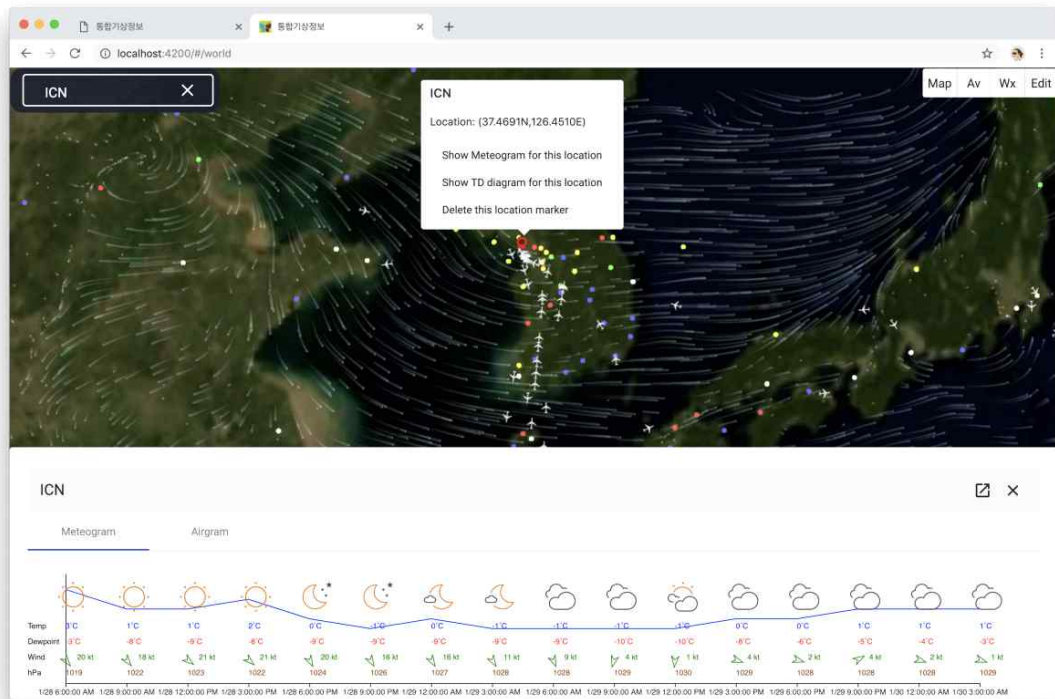
㉔ 지도 투영법(Map Projection)의 적용 예 - Equirectangular



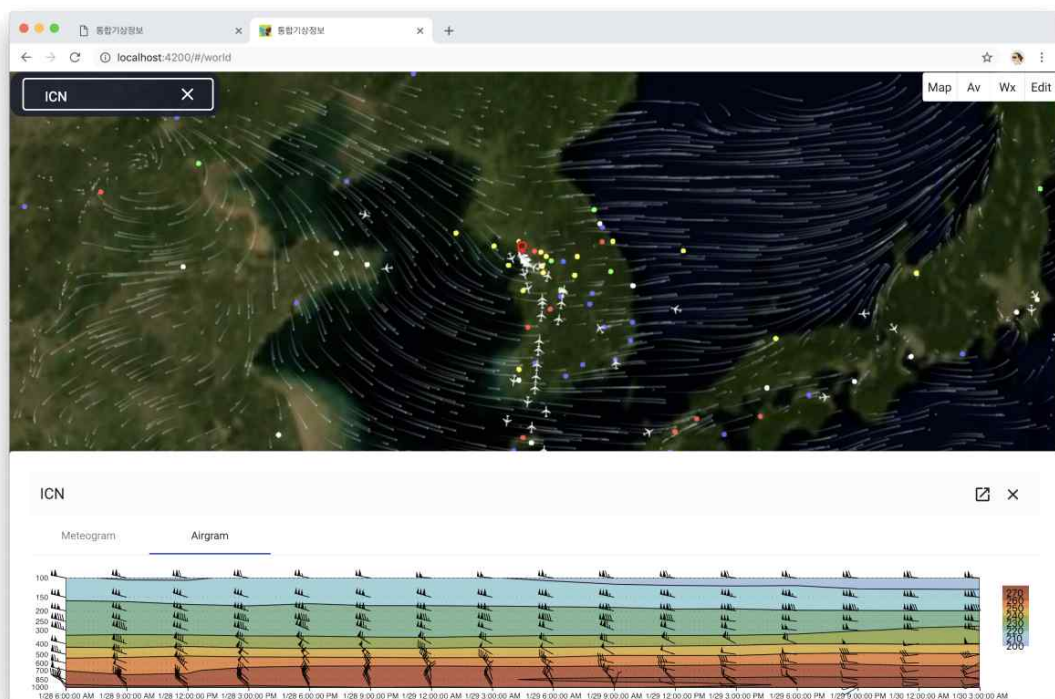
㉕ 지도 투영법(Map Projection)의 적용 예 - Lambert Conformal Conic



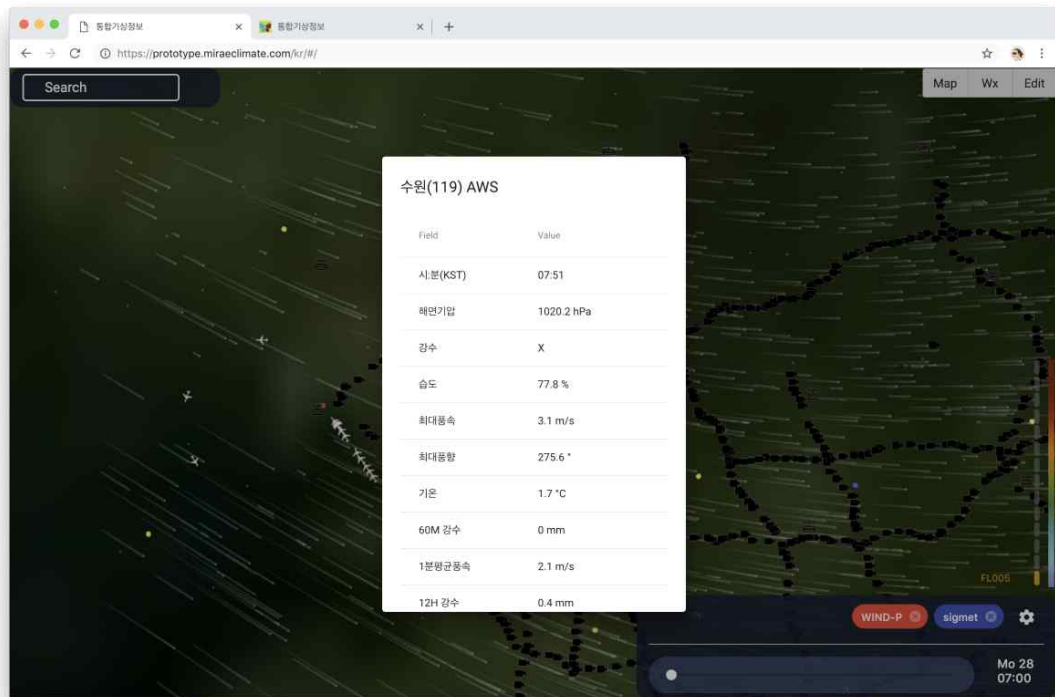
㉔ 사용자지정 임의 지점의 Meteogram 표출



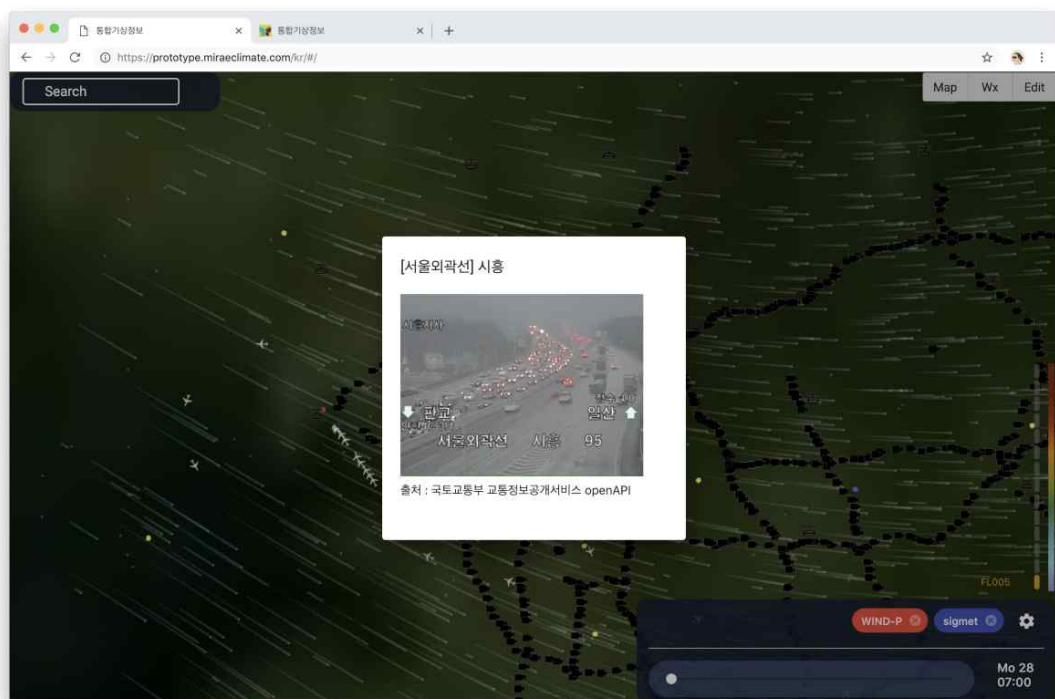
㉕ 사용자지정 임의 지점의 시간별 WinTemp 차트 표출



㉠ 관측지점 AWS 정보 표출



㉡ 웹캠/CCTV를 이용한 영상 stream 표출



③ 평가

- 본 연구의 통합기상정보서비스 프로토타입은 최신 IT기술들을 사용하여 사용자의 컴퓨터 또는 모바일 디바이스에 장착된 GPU 등 하드웨어의 연산능력을 최대한 활용함으로써, 서버의 부담을 줄이고 클라이언트의 정보처리 속도를 극대화하여, 사용자에게는 빠른 반응속도를 제공할 수 있는 방식으로 설계되고 구현되었음
- 현재 프로토타입 클라이언트의 프레임 당 렌더링 시간은, 항공기 운항정보와 공항 기상상태와 바람장 애니메이션을 동시에 표출하는 경우에도, 평균적으로 0.5 msec 미만을 유지하는데, 이는 현대의 브라우저의 최대 렌더링 속도인 60 FPS (Frames Per Second)보다도 훨씬 빠른 속도이며, 다른 항공정보/기상정보를 추가하여 다층 레이어로 더 많은 정보를 표출하거나 하나의 화면(또는 웹페이지)에 두 개 이상의 정보표출화면을 동시에 운용한다고 하더라도, 전혀 무리가 가지 않을만 한 정보처리능력의 여유를 가지고 있고, 항공 및 기상분야에서 현재 서비스되고 있는 해외 글로벌 정보서비스들과 비교하더라도, 동등하거나 더 뛰어난 성능을 보여주는 수준이라고 할 수 있음
- 기본적으로 본 연구의 통합기상정보서비스 프로토타입은, 항공운항정보 및 기상정보를 3차원 표출 시스템 안에서 통합하여, 직관적이고 쉽게 사용할 수 있는 플랫폼을 제공하며, 기존의 기상정보가 갖는 전문성과 복잡성을 직관적인 3차원 UI에서 표출하여 보여줌으로써, 기상분야의 전문가가 아니라도 항공운항의 컨텍스트 안에서 기상정보를 쉽게 활용할 수 있도록 하고, 기상정보와 항공운항정보가 통합됨으로써, 항공운항의 계획/실행/평가 등 각 단계에서, 풍향/풍속 등 기상요소의 영향을 종합적으로 판단하고, 운항비용 또는 위험기상의 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 플랫폼을 제공할 수 있음
- 이는 테스트에 참여한 일부 항공분야 전문가들의 피드백에서 드러난 것처럼, 기상분야의 전문적인 지식을 갖추지 못한 일반사용자라도 PAV등 자율성이 강화된 미래의 항공운항환경에서 아주 쉽게 기상정보를 활용할 수 있도록 해준다는 점에 의미가 있음
- 본 통합기상정보시스템은 항공운항분야에 국한되지 않고, 항공기상서비스 분야만 아니라 해상, 지상 등의 타 교통 분야 및 생활기상 전반에 기상정보 제공 및 위험관리 기술로 확대할 수 있는 사용자 능동적 실시간 기상정보제공 시스템의 기반 기술로서 활용될 수 있음
- 본 연구자들은 이번 연구의 성과를 토대로, 본 통합기상정보서비스 플랫폼을 향후 항공운항을 위한 실시간 기상정보의 분석 및 적극적인 비용/위험도의 예측/평가를 위한 지능형 시스템으로 발전시켜나가고자 함

다. 연구개발 성과

(1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
1	심층신경망을 활용한 활주로 가시거리 예측 모델 개발	한국항공학회 논문지	구성관	21권 5호	대한민국	한국항공학회	비SCI	2017년 10월 31일	
2	Analysis of surveillance position error for airfield detection	Aircraft Engineering and Aerospace Technology	SungKwan Ku	Vol 90 (6)	England	Aircraft Engineering and Aerospace Technology	SCI(E)	2018년 1월 20일	
3	Runway visual range prediction using convolutional neural network with weather information	International journal of advanced culture technology	SeokMin Hong	Vol 6 (4)	대한민국	International journal of advanced culture technology	비SCI	2018년 12월 31일	
4	심층신경망을 이용한 활주로 가시거리 예측 모델의 고도화	한국항공학회 논문지	구성관	22권 6호	대한민국	한국항공학회	비SCI	2018년 12월 31일	

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국항공운항학회 2017 춘계 학술대회	원완식	2017.5.19	고흥항공우주센터	대한민국
2	한국항공운항학회 2017 추계 학술대회	구성관	2017.11.24	한국공항공사 항공보안교육센터	대한민국
3	한국항공운항학회 2017 추계 학술대회	최재일	2017.11.24	한국공항공사 항공보안교육센터	대한민국
4	International symposium on sustainable aviation 2018	ARim Ko	2018.07.10	ITALIA	ITALIA
5	한국항공운항학회 2018 추계 학술대회	최재일	2018.12.06	한국공항공사 항공보안교육센터	대한민국

(3) 지식재산권

번호	지식재산권 등 명칭	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	안개 예측 시스템 및 이를 이용한 안개 예측 방법	KR	미래 기후	17.09.29	10-2017-0128219	미래 기후	18.11.13	10-1919814-0000	100%

(4) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	웹기반 3차원 기상정보 표출 라이브러리	2018.11.30	미래기후	2019.01.21	C-2019-002105	미래기후	100%

(5) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별			성별			지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	인력양성	2018		1			1			1			
2	인력양성	2019		1	1		1	1		2			

(6) 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원
1	Commercial aircraft safety assessment and 1309 design analysis	항공분야의 System safety assessment 기법과 항공기 운영 등에 적용할 수 있는 상세 규정에 대한 실무적 적용 기법 연수	The university of kansas	1회	35시간	2명

(7) 고용창출

번호	이름	과학기술인번호	근무처	근무기간	비고
1	최유성	11768538	(주)미래기후	2017.08.01.~현재	
2	황티웬창	11689225	(주)미래기후	2017.08.01.~현재	

(8) 시스템 개발

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호
2018	3차원 기상정보 제공을 위한 웹기반 서비스 플랫폼	항공기상정보의 3차원적 정보 제공을 위한 기본 베이스 플랫폼의 제작	TRL 4	-

(9) 보고서 산출

연도	보고서 구분	날짜	비고
2017	PAV 운영/기술 개념 분석 보고서	2017년 11월	
2017	항공기상 서비스 분석 보고서	2017년 11월	
2018	소프트웨어 설계 문서 도출	2018년 12월	

(10) 기타 홍보 및 협의

연도	구분	일자	장소
2018	항공기상 정보활용 토론회 주제 발표 조종 및 관제 부분의 항공기상 정보 활용	2018.03.15	한국교통연구원
2018	UTM 과제 세미나 - 저고도 항공기상정보 및 서비스 모델 연구	2018.10.17	한국항공우주연구원

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 성과 목표 및 달성도

○ 성과 목표 - 기초원천 분야

성과지표	성과 목표	최소 성과 목표	달성치
SCI(E)급 학술지 게재(2점)			1건
일반학술지게재(1점)	4건		3건
특허출원(1점)	1건		1건
특허등록(2점)			1건
소프트웨어(1점)	1건		1건
소계(점수)	6점	5점	9점

○ 연구 결과에 대하여 아래와 같은 평가 목표에 대한 평가 목표를 제시하고, 100% 달성을 완료함

구분	성과점검 기준	달성치 및 측정방법
양적성과지표	일반학술지 논문 게재 4편	SCI(E) 학술지 1건 / 게재 완료 KCI 등재 학술지 3건 / 게재 완료
	특허출원 1건	출원 1건 / 출원 완료
	소프트웨어 등록 1건	등록 1건 / 등록 완료
질적성과지표	시험문서 1건	문서도출 1건 / 전문가 검토
	PAV 운영/기술 개념 분석 보고서 도출 1건	문서도출 1건 / 전문가 검토
	항공기상 서비스 분석 보고서 도출 1건	문서도출 1건 / 세미나 실시
	소프트웨어 설계 문서 도출 1건	문서도출 1건 / 전문가 검토

○ 연구개발 계획서에 제시된 성과 목표 이외에 초과로 달성한 연구 실적은 아래와 같음

구분	성과점검 기준	달성치 및 측정방법
양적성과지표	학술대회 논문 발표	5건 / 학술 발표
	인력양성	석사 2명 / 졸업 학사 1명 / 졸업
	국내외 장단기 연수 성과	단기 연수 2명 / 수료
	일자리 창출	2명 / 신규채용
	기상서비스 모델 관련 성과 확산 세미나	세미나 2건 / 실시 여부
질적성과지표	목표 설계를 위한 항공기 활용 통신시험 및 항공기 운영 데이터 측정	항공기 운영 5건 / 운영 여부

○ 연구기간 종료 후 추가로 달성예정인 연구 결과는 아래와 같음

구분	예상 실적	달성치 및 측정방법
양적성과지표	KCI 등재지 논문 1편	3월 투고 예정

나. 연구성과 목표 및 달성도

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	1		초과달성
	비SCI			
	계			
국내 논문 게재	SCI			
	비SCI	4	100%	
	계	1	100%	
특허 출원	국내	1	100%	
	국외			
	계	1	100%	
특허 등록	국내	1		
	국외			
	계	1		초과달성
인력 양성	석사	2		초과달성
	박사			
	계			
기술 이전	계약 건수			
	계약액			
	징수액			
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신품종		
	소프트웨어		1	100%
기타	화학물			
	시제품		1	초과달성
	성과 홍보		2	초과달성
	일자리 창출		2	초과달성
	학술대회 발표		5	초과달성

다. 관련 분야 기여도

- 본 연구를 통하여 PAV 등 미래형 항공서비스의 안전한 운항을 위하여 필요한 항공 기상 정보 생성에 필요한 데이터를 제공하는 방법에 대한 기초 연구를 수행하여, 항공적 교육을 받지 않은 일반인도도 직관적으로 인식할 수 있는 데이터의 플랫폼 체계를 구축함
- 이 과정에서 미래형 항공서비스와 운영 조건이 유사한 실제 저고도 항공기 운영자에게 정보의 중요도 및 요구도 조사를 실시하여 적절한 연구 결과가 산출될 수 있도록 하여, 실제 연구 결과의 활용도를 높이기 위한 초기 단계부터의 활용성 증대에 대한 고려를 수행함
- 본 연구를 통하여 개발된 3차원 항공기상정보 제공 플랫폼은 저고도 운항하는 항공기뿐만 아니라 중고고도에서 운항하는 항공기에도 정보를 제공할 수 있는 플랫폼으로 확장성을 가지고 있으며,
- 실제 본 연구에 참여한 공동기관에서는 개발된 TRL 4 기반 기술을 바탕으로 데이터의 제공 범위를 확장한 사업 모델을 구축하여 연구 결과를 활용한 사업화 시도를 하고 있는 등 연구 결과와 후속 연구를 수행하는데 활용될 수 있는 기반을 마련함
- 또한, 본 연구에서 산출된 다양한 결과는 국내외 논문 게재, 특허 출원/등록, 소프트웨어 등록, 국내외 학술대회 발표 등을 다수 수행하여 연구 내용의 객관적 검증 및 공표를 시도하였으며,
- 인력 양성, 일자리 창출, 전문교육 이수, 본 연구 결과의 확산을 위한 국내외 세미나 참석과 후속 연구 협의 등을 수행하여 관련 분야의 기여도가 크다고 판단됨

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 기술 활용 계획 및 타 연구 응용

- 본 연구의 연구결과인 통합기상정보서비스는 항공운항분야에 국한되지 않고, 해상/지상 등 타 교통 분야 및 생활기상 전반에 기상정보 제공 및 위험관리 기술로 확대될 수 있음
- 특히 본 연구를 통해 개발된 통합기상정보서비스 프로토타입은, 완전한 3차원 기상정보 표출 플랫폼으로서, 사용자 편의성, 정보의 가공 및 처리 속도, 사용자 반응 속도 등에서 뛰어난 성능을 보여주고 있음
- 공동연구기관인 미래기후는 본 연구의 통합기상정보서비스 프로토타입의 3차원 기상정보 표출 라이브러리를 이용하여 보다 선진화된, 비기상전문가인 일반 사용자들도 쉽게 활용할 수 있는 3차원 기상정보서비스를 구축하는 데 활용할 예정임

나. 추가 연구 필요성

- 본 연구는 기상 예보모델 결과, 기존 항공기상정보 등을 활용하여 미래항공서비스의 안전한 운항을 위한 맞춤형 정보 제공을 위한 데이터 처리 기술과 효과적인 정보 전달을 위한 플랫폼 원천 기술 개발을 수행하였으며,
- 일부 데이터를 활용한 특화된 예보/경보 기술과 데이터 후처리 등을 위한 관련 기술 연구 등을 수행하였음
- 다만, 기존 기상 예보 데이터의 한계로 인한 낮은 예보 정확도 향상을 위한 관련 기술에 대해서는 추가적인 연구를 수행할 필요가 있음
- 최근 데이터 처리를 위하여 연구되고 있는 관련 기술 들을 활용하여 기존의 기상정보에 대한 후처리를 등을 통하여 예보 정확도가 향상된 항공기상정보의 제공으로 관련 항공안전에 긍정적인 효과가 있을 것임
- 본 연구에서 처리, 분석, 도출한 항공기상 데이터의 활용성 증대를 위하여, 저고도 항공기 운항 및 무인항공기교통관리 체계 등을 위한 저고도 기상 데이터 산출에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것임
- 또한, 본 연구에서 수행하지 못한 PAV 운항 범위에 가정된 저고도의 지형정보, 운항 속도 등의 영향을 고려한 데이터 통신 전송 속도 관련 연구 및 생성된 데이터의 정확도를 검증하기 위한 방법 등의 추가적인 연구가 수행되어야 할 것임

다. 사업화 추진 계획

- 공동연구기관인 미래기후는 본 연구의 성과 중 하나인, 항공운항정보와 기상정보를 결합한 3차원 통합기상정보서비스 표출 기술을 항공사 운항통제를 위한 시스템에 응용하여, 실시간 항공기 운항정보와 기상정보를 한 눈에 파악할 수 있는 시스템을 구축하는 데 활용할 계획임
- 성과활용 등을 위한 향후 계획에 본 연구에서 개발된 기반 기술을 이용할 뿐만 아니라, 항공기상 데이터를 처리하는 기반을 확보한 본 연구 결과를 활용하여 후속적인 핵심 기술을 도출하고 관련 개발을 추진할 것임
- 상기 항공사 운항통제실을 위한 운항관리시스템의 일부로서 통합기상정보서비스는 비행계획 단계 및 실시간 비행감시 단계에서 항공운항정보와 기상정보를 3차원 표출시스템 안에 통합하여, 해당 항공사의 비행편의 비행경로 상에서 발생하는 실시간 기상상황을 운항관리사들이 파악하고 분석하는 작업을 효과적으로 지원하는 것을 목표로 함

붙임. 참고문헌

- ICAO, Annex 3 - Bangkok, Thailand, 6 - 9 June 2016
- 국립기상연구소, 기상정보 활용 및 가치 창출 지원 연구, 2013
- 기상청, 항공기상기술 선진화를 위한 발전 방안 연구, 2009
- 항공기상청 정보기술과, 항공기상정보 서비스 소개, 2015
- 한국기상산업진흥원 산업전략실, 중국 기상현대화 첨단기술 엑스포2017 참관 공무국외 출장 세부 결과보고, 2017
- 한국과학기술기획평가원, 기상관측·예보기술의 동향 및 시사점, 2011
- 한국기상산업진흥원 산업지원실, 2016년 핀란드 기상청 및 글로벌 기상기업 기술현황 조사 공무국외 출장 세부 결과보고, 2017
- 한국교통연구원, 항공분야 빅데이터의 정책적 활용방안 연구, 2014
- 한국기상산업기술원, 기상분야 선진국 R&D 연구방향 비교, 2017
- 한국기상전문인협회, 수요자 중심의 항공기상서비스구현 방안 연구, 2007
- 항공기상청 관측예보과, 항공기상 예보지침, 2017
- FAA, Aviation Weather Services, 2016
- 한국항공운항학회, F급 항공기 교체 공항 선정을 위한 기상분석, 2012
- 한국항행학회, PAV를 활용한 공유형 항공 이동수단의 해외 연구 동향 및 국내 적용 방안, 2017
- 한국항공운항학회, Radiosonde 자료를 이용한 항공기 난류 특성 분석, 2007
- 한국항공운항학회, 국내 항공운항에서 기상현상이 결항 및 지연에 미치는 영향 분석, 2011
- 공군사관학교, 군 우주기상 지원 체계 구축 방안 연구, 2016
- 한국항공운항학회, 기상 전용 항공기 도입 및 운영방안 연구, 2009
- 한국항공운항학회, 기상청 현업 통합모델과 조종사기상보고 자료를 이용한 한국형 항공난류 예측시스템 개발, 2012
- 대한지리학회, 도로상 위험안개의 특징 분석 및 발생 지표의 개발, 2003
- 한국항공운항학회, 소형 항공기의 고밀도 운용방안, 2011
- 한국항공경영학회, 우리나라에서의 PAV 개발과 항공기산업의 발전, 2010
- 해양예보과, 인천의 해무 발생 특성, 2017
- 한국항행학회, 항공교통정보 제공을 위한 FIS-B 설계 및 구현에 관한 연구, 2011
- 국토교통부, 소형항공기(헬기) 안전개선 대책 수립을 위한 정책 연구용역 보고서, 2013
- 기상청, 안개분석기술과 예측방법, 2015
- 기상청, 항공기상업무지침_15년 1월 개정, 2015
- ICAO : MANUAL ON LOW-LEVEL WIND SHEAR AND TURBULENCE FIRST EDITION - 2005 (DOC 9817)
- 항공기상청 : Manual for Aerodrome Warnings and Wind shear Warnings - 2016.11.10. (ISO-I-06)
- NWS, 2004: Terminal Aerodrome Forecasts, NWS Instruction, 10-813

- Zhou, Binbin & Du, Jun & Mcqueen, Jeffery & Dimego, Geoff & Manikin, Geoffrey & Ferrier, Brad & Toth, Zoltan & Juang, Hann-Ming & Hart, Mary & Han, Jongil. (2004). An Introduction to NCEP SREF Aviation Project.
- <https://www.windguru.cz/>
- <https://www.windfinder.com/>
- <https://www.usairnet.com/>
- <https://sunny-spot.net/>
- <https://www.windyty.com/>
- <https://www.weather.gov.hk/>
- <https://aviationweather.gov/>
- <https://www.aviationweather.gov/adds/>
- <https://www.faa.gov>
- <https://www.airportal.go.kr>
- <http://ais.casa.go.kr/>
- <http://atis.koca.go.kr/ATIS/index.jsp>
- <http://www.molit.go.kr/portal.do>
- <http://araib.molit.go.kr/intro.do>
- <http://www.airportal.go.kr/skyleisure/index.jsp>

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.