1. 연구실(실험실) : 무인시스템제어연구실 (Unmanned Systems Control Lab)
항공우주시스템 및 제어연구실 (Aerospace Systems Control Lab)
우주 로보틱스 제어 연구실 (Space Robotics Control Lab)

장소 : 전자관 322호, 연구동 405호, 기숙사 B101-1호
홈페이지 : https://control.kau.ac.kr

2. 담당 교수

성 명	전공 분야	연락처	메일 주소
정 동 원	무인항공기/로봇제어, 관성항법 및 센서	02-300-0134	djung@kau.ac.kr

3. 연구 분야

- Research on Satellite and Space Robotics Systems
  - CMG(Control Moment Gyroscope) for CubeSat
  - Formation Flying Algorithm for Small Satellites
  - Dynamics and Control of Artificial Satellites
  - Space Manipulator Motion Planning and Control for On-Orbit Servicing
  - ROS based On-Orbit Servicing Spacecraft Simulator Development
  - Space Debris Capture Mechanism using Space Robot Arm
- Research on UAV Systems
  - Vision based UAV Pose Estimation
  - Control Systems for Aircraft and Unmanned Aerial Vehicles
  - Dynamic Modeling and Control of Trans-Wing UAV
  - Dynamic Modeling and Control of Variable Pitch eVTOL Aircraft
  - Avionics and Sensor Systems
- Research on Launch Vehicle Systems
  - Integrated Flight Simulation and Flight Performance Analysis for Small Launch Vehicles

4. 연구과제

- USCL/SRCL
  - 소형발사체 임무 및 시스템 성능 설계 연구 <스페이스파이오니어사업/과학기술정보통신부> (Ongoing)
  - 100kg급 우주쓰레기 능동 제거 기술 개발 <스페이스챌린지사업/과학기술정보통신부>
  - 신개념 틸트로터형 UAM 설계 및 축소기 제작을 통한 비행 성능 시험 <한국항공대학교 교비 과제>
  - 영상 기반 다수무인기 협력적 다중 목표물 추적 알고리즘 개발 <과학기술정보통신부>
  - KF-X 축소기를 활용한 고받음각/고위험 비행시험 연구 <한국항공우주산업주식회사>
  - eVTOL 자율비행 핵심기술 및 비행안정성, 운용성 시험평가 기술 개발 <항공우주연구원>
  - ICT 융합기반 무인항공기 협동 운용시스템 개발 <산업통상자원부>
  - 나노위성용 자세제어를 위한 가변속 제어모멘트자이로 기술 연구 및 개발 <미래창조과학부>
  - ADS-B 기반 무인항공기 충돌회피 시스템 개발 <산업통상자원부>
  - 무인비행체 장애물 탐지 및 패스 플래닝 연구 <ETRI>
  - 고층대기 방전현상 원격 관측 큐브위성 VisionCube 제작 및 관련 기술 연구 <항공우주연구원>
  - 소형무인기 실시간 시뮬레이션 시스템 개발 <항공우주연구원>

- 멀티콥터 설계 형상의 성능 검증을 위한 PILS 시스템 개발 <항공우주연구원>

■ ASCL
- 무인 우주비행체의 자동 랑데부/도킹을 위한 유도제어 기술 연구 <국방기술진흥연구소> (Ongoing)
- AESA 레이다 공대지해 탐색 빔 운용 기법 연구 <한화시스템(주)>
- TF 운용분석 시뮬레이터 개발 <한화시스템(주)>
- KPLOWSB/BLT 궤적설계 교차 분석 및 비상시 대응궤적 설계연구 <한국항공우주연구원>
- 안심귀가 동행서비스를 위한 안전드론시스템 및 고신뢰 네트워크 보안시스템 개발 <중소기술진흥원>
- KF-X ATF 기능 구현 방안 연구 <(주)한국항공우주산업>
- KF-X 비행제어컴퓨터 신뢰성 성장시험 최적화 방안 연구 <(주)한국항공우주산업>
- 지능형 자율 항법 비행 및 SLAM 기술을 적용한 무인기 비행제어 시스템 개발 <(주)휴인스>
- EO/IR 탑재 감시정찰용 450g급 초소형 멀티콥터 개발 <민군협력진흥원>
- 초음속항공기 리셉터클 형태 공중급유시스템 개발 <(주)한국항공우주산업>
- 국가 비행종합 시험 인프라 개발 구축 <국토교통과학기술진흥원>
- 민간무인항공기 실용화 기반 조성 중장기 종합계획 수립 연구 <항공안전기술센터>
- EADSIM 기반 운용효과도 DB구축 용역 <국방과학연구소>
- 비행 안전성을 고려한 국내 초도비행 절차 개발 <국방과학연구소>
- P-3C 성능개량사업 DMS S/W 개발 감항인증 및 SW 아키텍처 연구 <(주)대한항공>
- 달 탐사선의 시뮬레이션을 위한 동역학적 모델링 및 자세제어 기법 연구 <한국항공우주연구원>
- 과학기술위성 3호 자세제어계 탑재 소프트웨어 개발 <한국항공우주연구원>

5. 연구생 모집
■ **모집 시기** : 상시 모집 (E-mail 문의 / djung@kau.ac.kr)
■ **대　　상** : 제어시스템 설계 및 로봇 공학 관련 과목에 흥미가 있는 학부 3, 4학년 학생

6. 연구실 특장점
■ 정규학기 학비 및 생활비 지원
■ 국내/국제 학술대회에 참여할 수 있도록 지원
■ SCIE/국내저널 등의 연구성과 달성
■ 국내 기업/연구소 및 타 대학과의 다수의 연구 프로젝트, 협업과제 수행 중

7. 연구실 재학생 현황
■ 박 사 과 정 : 4명
■ 석 사 과 정 : 2명
■ 학 부 연 구 생 : 3명

8. 졸업생 취업 현황
■ 박사
한국항공우주연구원(1)

■ 석사
박사후과정(1), 박사과정 진학(6), 한국항공우주연구원(2), 한국항공우주산업주식회사(1), 국가보안기술연구소(1), 국방과학연구소(1), 국방기술품질원(1), 창업(1), 한국항공우주산업주식회사(1), 현대자동차(3), LIG넥스원(2), 한화시스템(3), 교수사관(1), 풍산(1), 한화에어로스페이스(1), 대한항공(1), 워커린스페이스(1), 웨이파인더(1), 해외

박사 과정 진학(1) 등

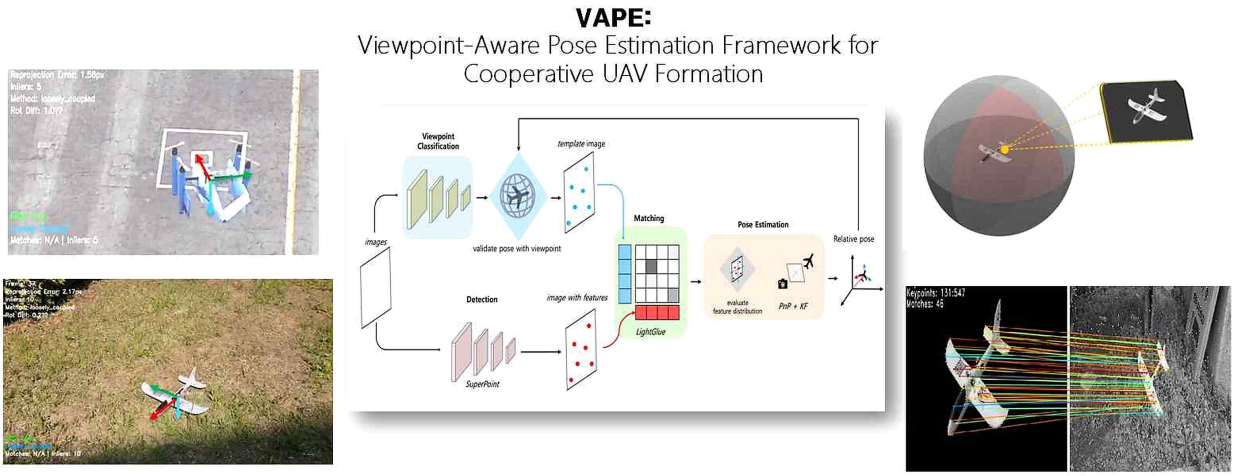
9. 연구내용 소개

■ 유/무인 항공기 연구

- Vision based UAV Pose Estimation
- Folding-wing UAV
- KF-X 비행제어
- Target tracking
- Quad-Tilt-Wing VTOL Control & Operation

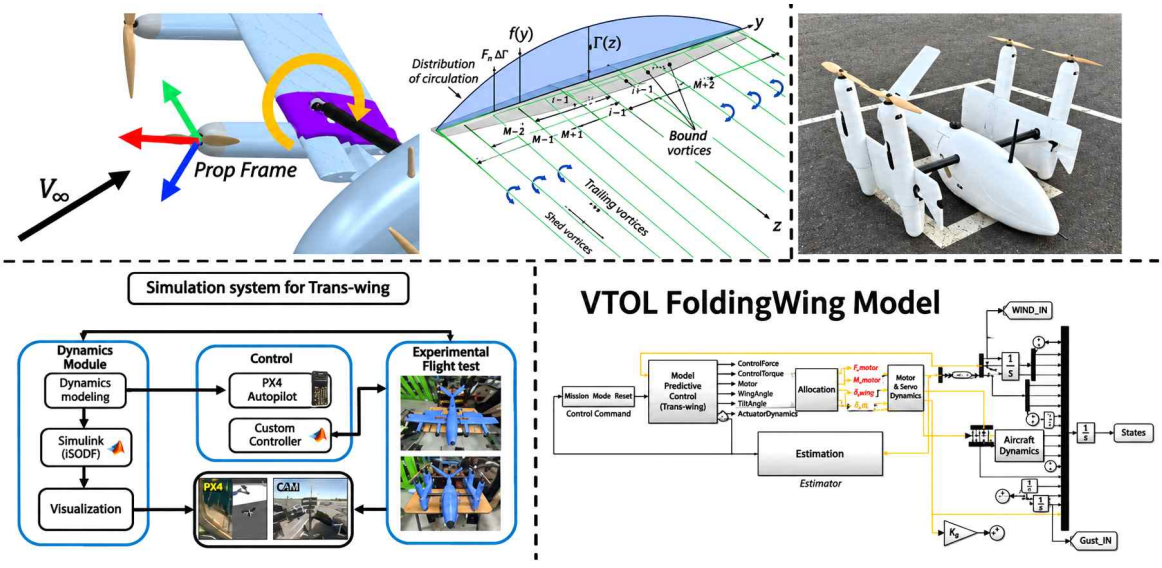
[Vision Based Pose Estimation]

● 카메라 영상 기반 UAV 6자유도 자세 추정 프레임워크 개발
● 추가 학습 없는 특징 매칭(SuperPoint·LightGlue) 및 시점 기반 템플릿 매칭 결합, Coverage Score·칼만 필터를 통한 고속 비행 중 안정적 자세 추정
● 실내외 실험을 통한 최신 딥러닝 기법 대비 성능 및 새로운 기체·환경 적용성 검증



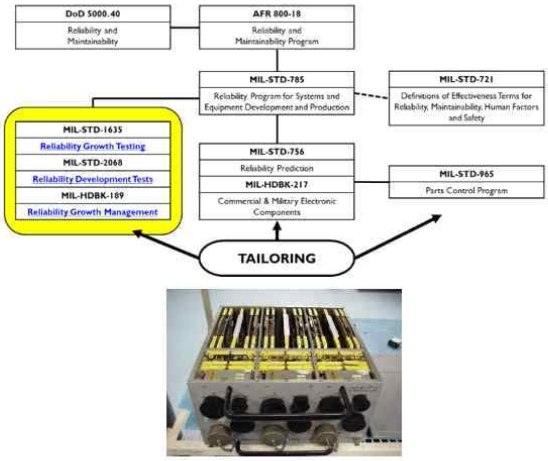
[Folding-wing UAV]

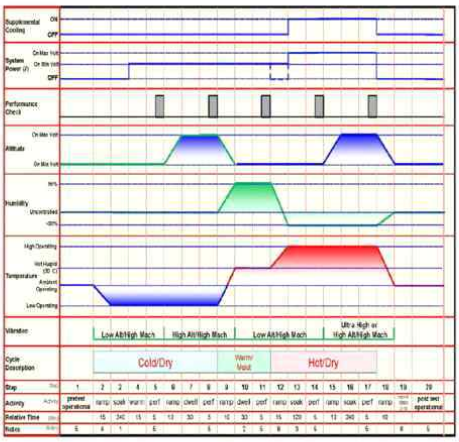
● BEMT 기반 프로펠러 모델 및 비선형 양력선 이론 기반 공력 모델을 이용한 비행 시뮬레이션 구축
● 시뮬레이션 환경에서 형상 변화에 따른 공력·비행 특성 분석 및 이를 바탕으로 한 제어기 설계
● 시험 비행을 통한 시뮬레이션 결과 비교·검증



[FK-X 비행제어]

- KF-X 비행제어컴퓨터 신뢰성 성장시험 최적화 방안 연구
  - 비행제어 컴퓨터의 신뢰성 성장시험 계획 수립 및 상세 절차서 개발
  - 신뢰성 성장시험 결과 분석기법 연구
  - 결함 모드 검토 및 결함 정의, 분류 방법 개발
  - 신뢰성 성장 모델 수립

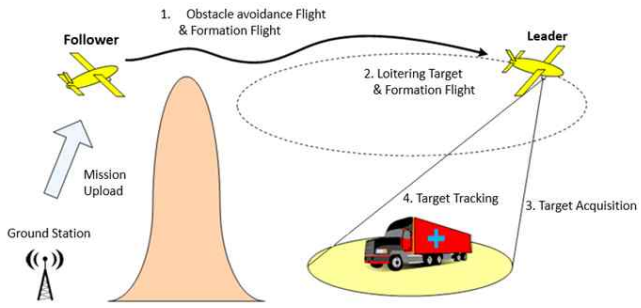


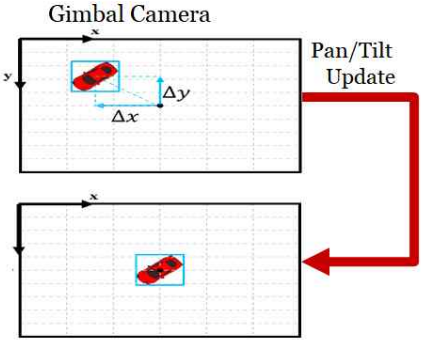


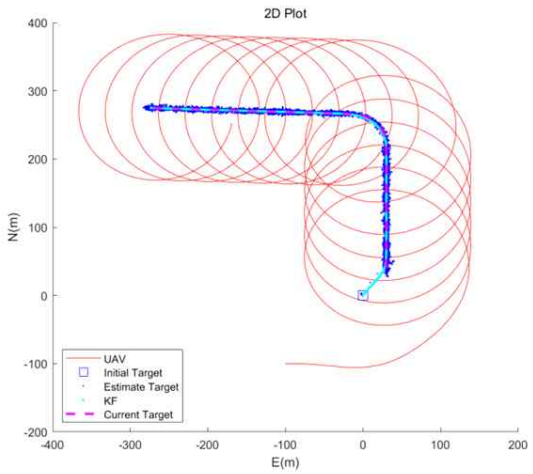
< KF-X 비행제어컴퓨터 신뢰성 성장시험 최적화 방안 연구 >

[Target tracking]

- 짐벌 카메라 기반 지상 목표물 위치 추정 기법 개발
- 객체 탐지·추적 기반 짐벌 pan/tilt 제어를 통한 목표물 추적 및 EKF·UKF 적용을 통한 노이즈 저감과 정밀 위치 추정
- 시뮬레이션 검증 및 비행시험을 통한 성능 검증







[Quad-Tilt-Wing VTOL Control & Operation]

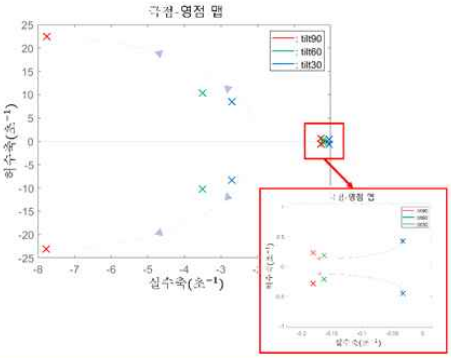
- 성능 및 운용 제약 조건을 고려한 틸트로터 VTOL UAV 이착륙 최적 궤적 생성 알고리즘 개발
- 천이 과정 수학적 모델링, 대기속도 기반 틸트 프로파일 설계 및 B-spline 기반 초기 추정값 생성을 통한 최적해 도출
- 수치 시뮬레이션, HILS 및 실제 비행시험을 통한 궤적 실용성 검증

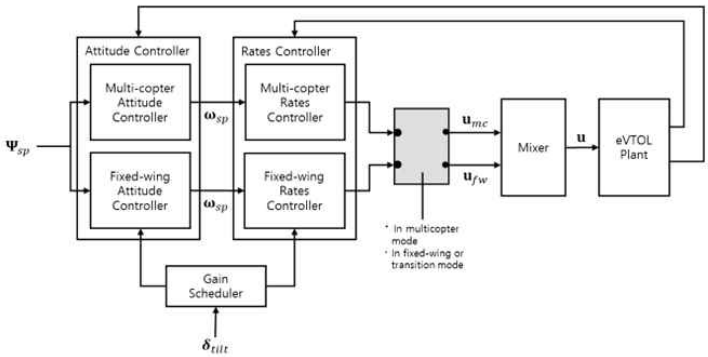
• Quad Tilt Rotor Aircraft

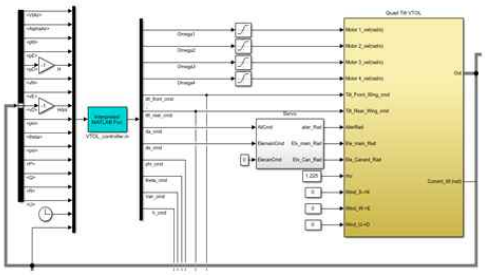


Category	Value [Units]
Shape	Tandem/Canard wing
Wingspan	2200 [mm]
MTOW	14 [kg]
Cruise speed	25 [m/s]
Max speed	34.56 [m/s]
Range	10 [km]

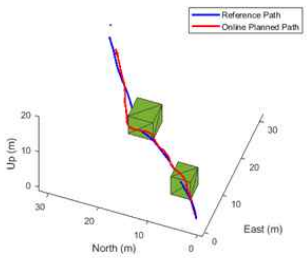
• Dynamic Characteristics Analysis & Attitude Control law



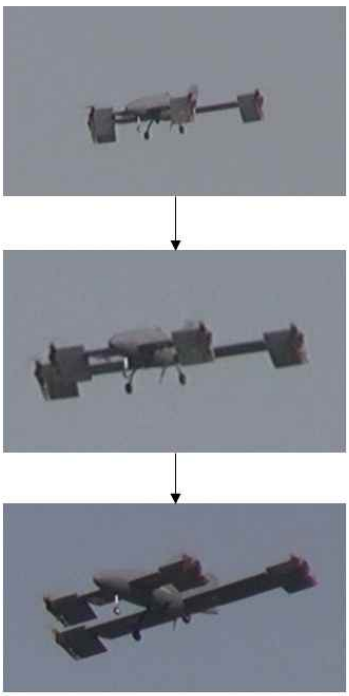




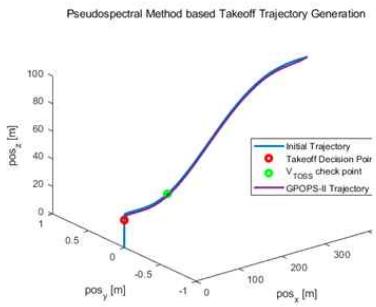
Simulation of Quad Tilt wing VTOL

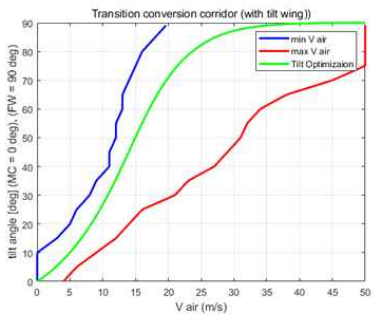


Online Trajectory Planning Considering Vehicle Status



Real Transition Flight

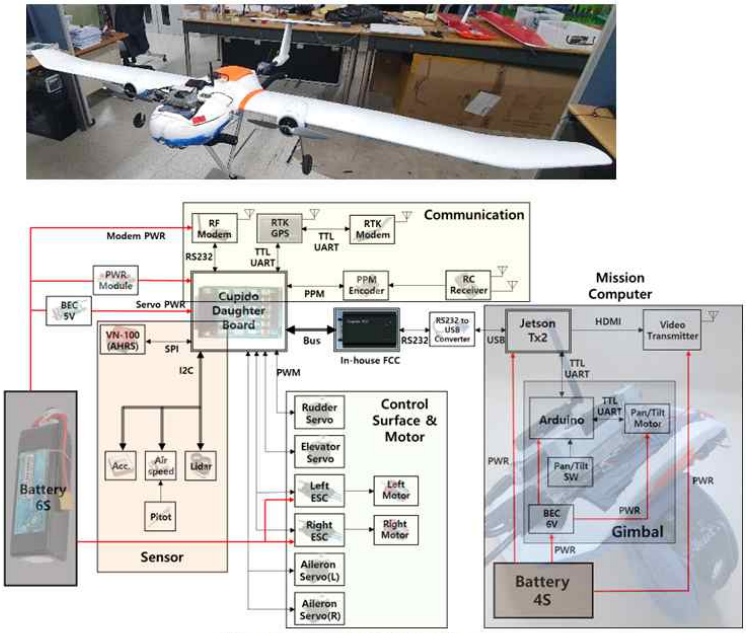




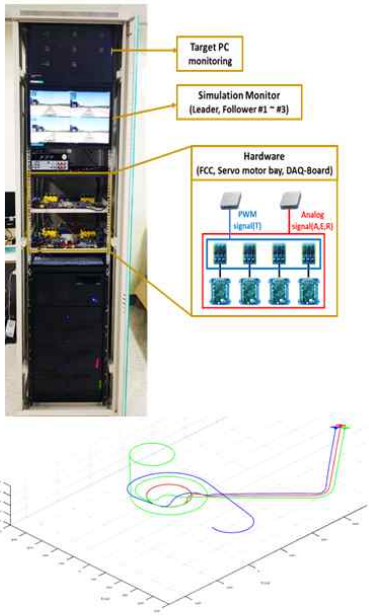
Takeoff & Landing Trajectory Generation Considering Tilt Mechanism

[Multi-UAV Cooperative Multi-Target Tracking]

- MRA-MDP·MMRA-MDP 기반 다수 무인항공기 온라인 임무 계획 및 다중 목표물 할당 알고리즘 개발
- 외란에 강건한 고정익 경로 추종 제어 법칙 및 협력 정찰을 위한 원형 편대 유도 법칙 설계
- HILS 및 다수 무인항공기 비행 실험을 통한 강건성·성능 검증



Fixed-wing UAV Platform

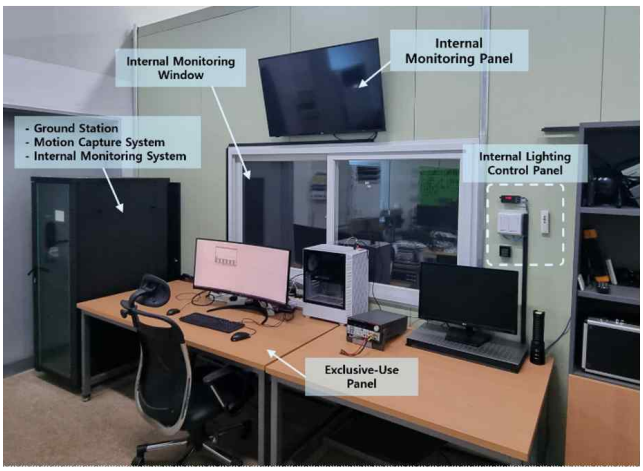


Multi-HILS for Formation Flight

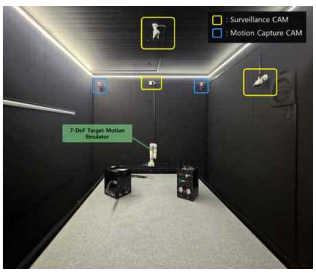
■ 인공위성 시스템 연구

- 궤도상 서비싱(OOS)을 위한 근접운용 및 자율유도 알고리즘 개발
- 다중 로봇팔 기반 우주 로봇 시스템의 임무계획
- 비협조 목표물 포획을 위한 다중 로봇팔 동작계획 및 재계획
- 소형 발사체 성능 분석 및 통합 시뮬레이터 개발
- 접촉 기반 궤도상 서비싱을 위한 End-to-End 시뮬레이션 프레임워크 개발
- 초소형 제어모멘트자이로(CMG) 모듈 개발
- 인공위성 자세결정 및 제어(ADCS) 검증을 위한 PILS/HILS 시뮬레이터 개발
- 궤도상 상대항법 및 목표물 포획 검증을 위한 다자유도 HILS 플랫폼 개발

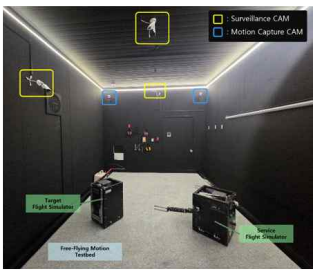
[궤도상 상대항법 및 목표물 포획 검증을 위한 다자유도 HILS 플랫폼 개발]



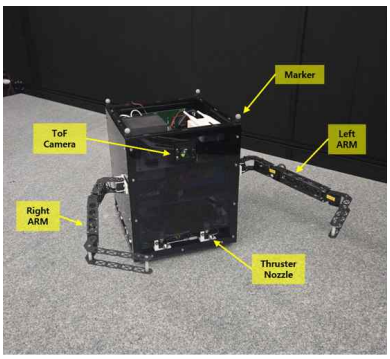
외부 지상국 구성



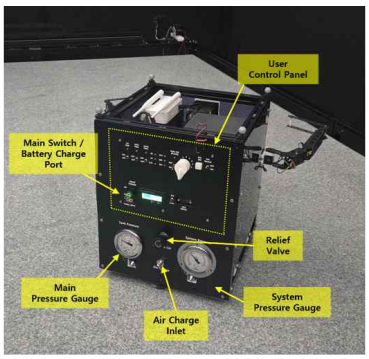
실험 공간 내부 - 전면

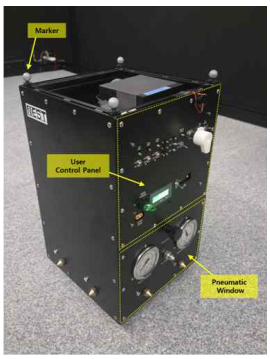


실험 공간 내부 - 후면



Flight simulator - Front





Flight simulator - Rear

[궤도상 근접 운용 알고리즘]

○ Planar rendezvous problem formulation

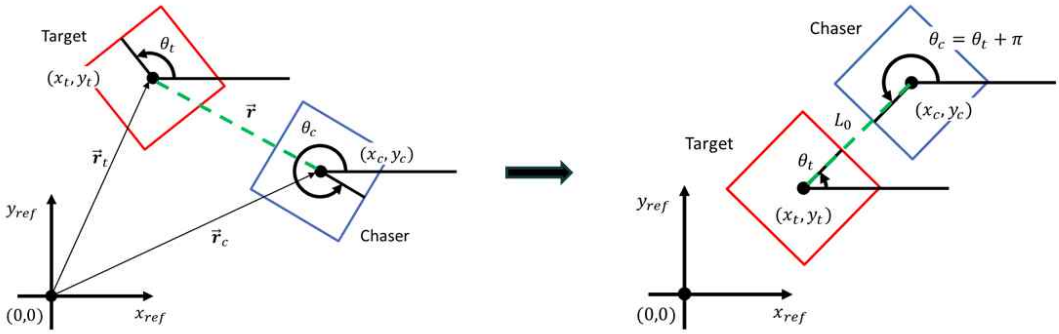


Diagram of relative motion problem

Final configuration of planar rendezvous between two S/C

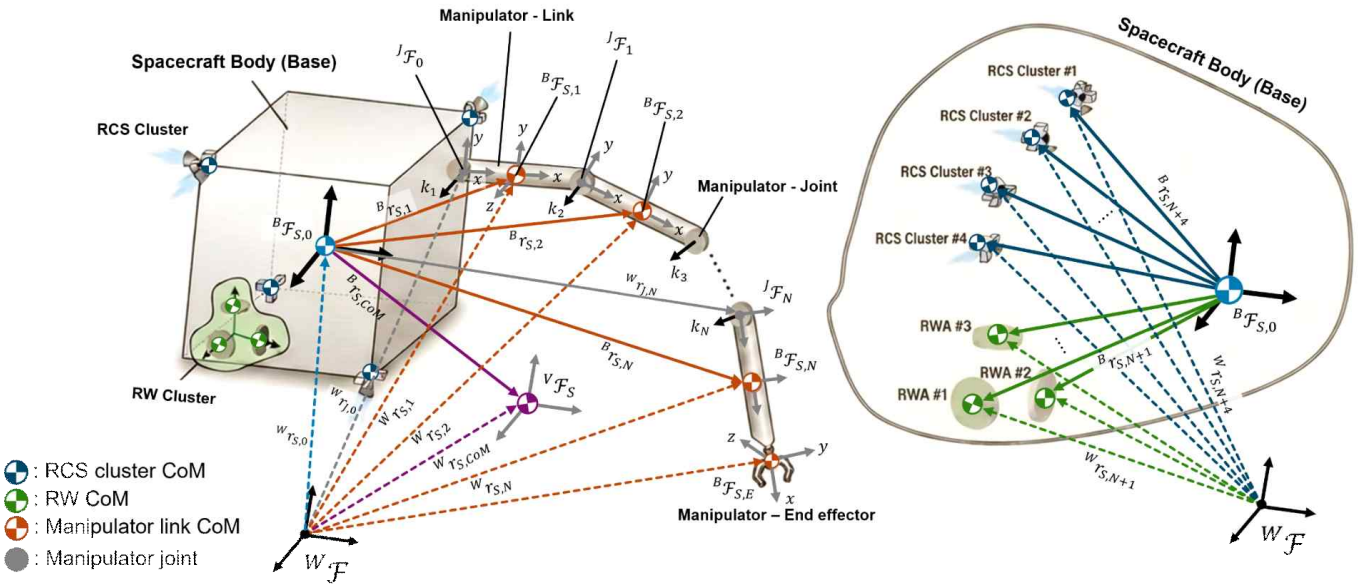
<Nomenclature>

- $m_\star$: Mass of s/c
- $\vec{r}_\star$: Position vector of s/c (Reference frame : Inertial frame)
- $\theta_\star$: Orientation(Heading angle) of s/c
- L_0 : Required minimum stand-off distance while rendezvous (const.)
- $\star$ = t(Target)/c(Chaser)

<Note>

- Chaser가 target에 근접하여 운용할 때, target의 병진 이동 속도는 고정되어 있다고 가정
- 근접 운용 시 chaser는 target으로부터 최소 L_0만큼의 거리를 유지 & Chaser의 각속도와 target의 각속도의 크기는 동일
- No disturbance on target s/c

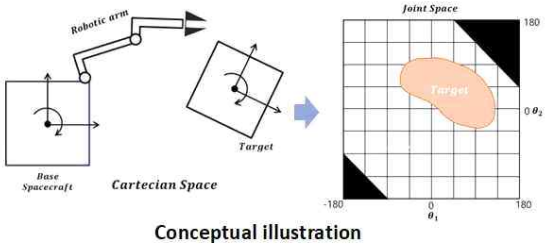
[서비스 위성 시스템의 기준 좌표계 및 기하학적 정의]



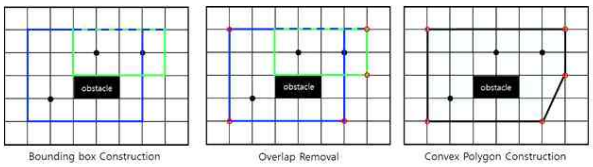
[비협조 목표물 포획을 위한 다중 로봇팔 동작계획 및 재계획]

❖ **Motion Planning and Replanning for a Moving Target using a Space Robotic Arm**

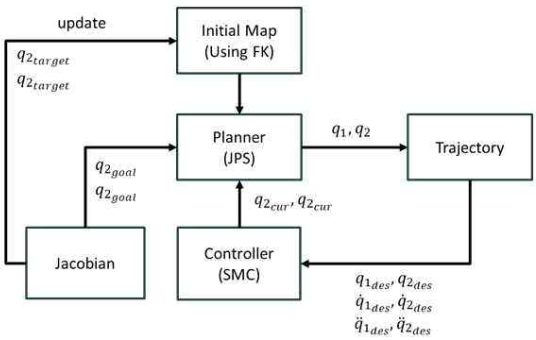
- 로봇팔 탑재 우주 시스템의 동역학 모델링
- 목표 위성의 상태를 관절 공간으로 투영한 초기 궤적 생성
- 목표물 운동에 따른 실시간 상태 관절 공간 재투영 및 경로 재계획
- SMC 제어기를 이용한 궤적 추종 및 추종 성능에 대한 시뮬레이션 기반 평가



Conceptual illustration



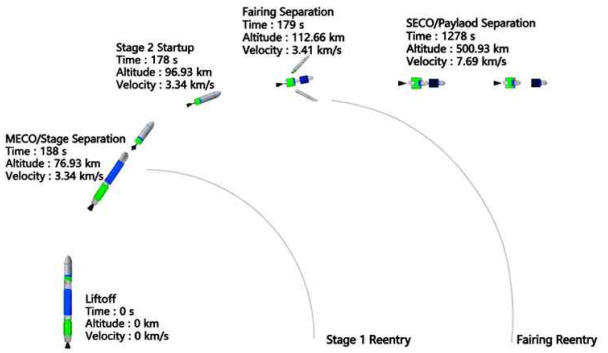
Constrained Search Space Generation

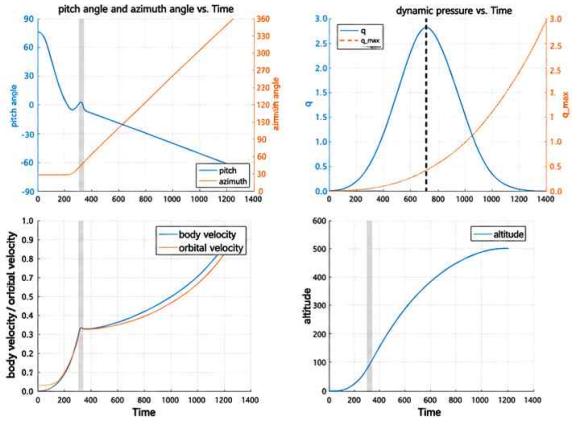


Algorithm design architecture

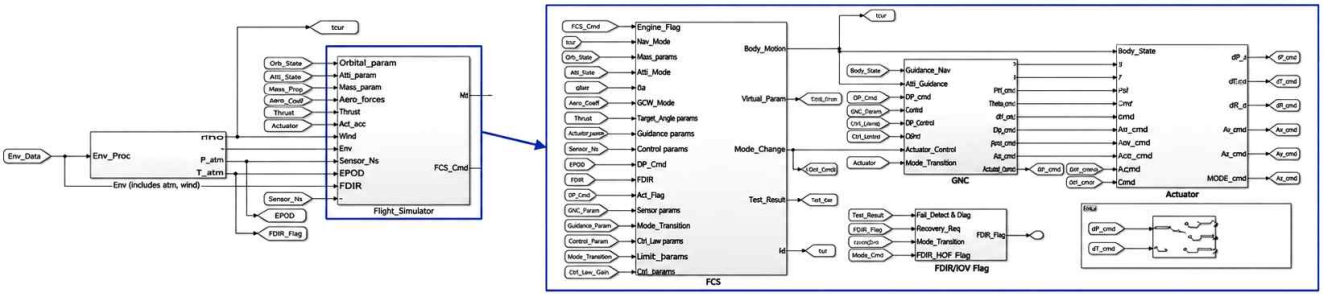
[소형 발사체 성능 분석 및 통합 시뮬레이터 개발]

- **Flight Sequence**

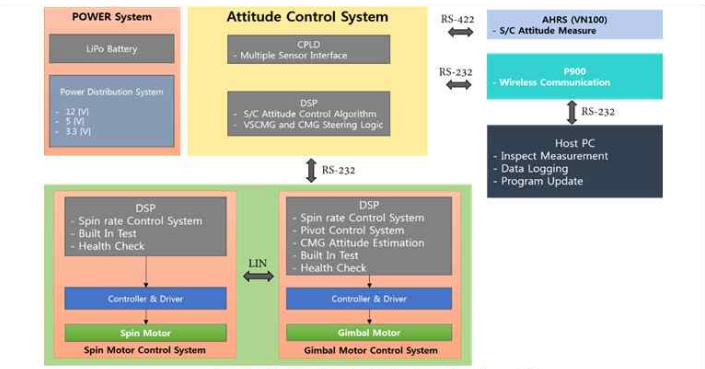




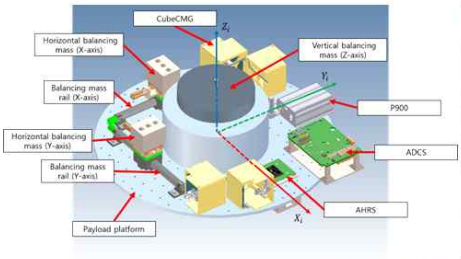
- **Integrated Flight Simulation**

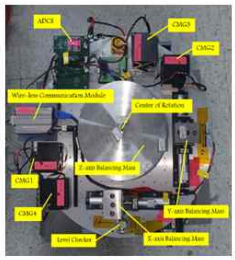


[인공위성 자세결정 및 제어(ADCS) 검증을 위한 PILS/HILS 시뮬레이터 개발]

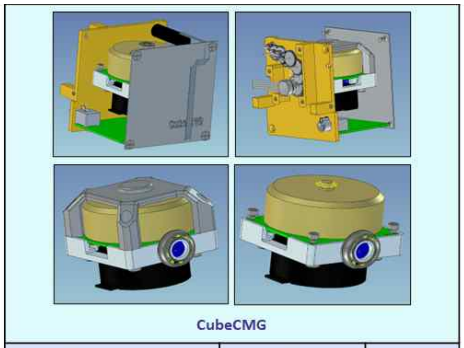


3-axis Air Bearing HILS System Configuration





3-axis Air Bearing HILS Simulator

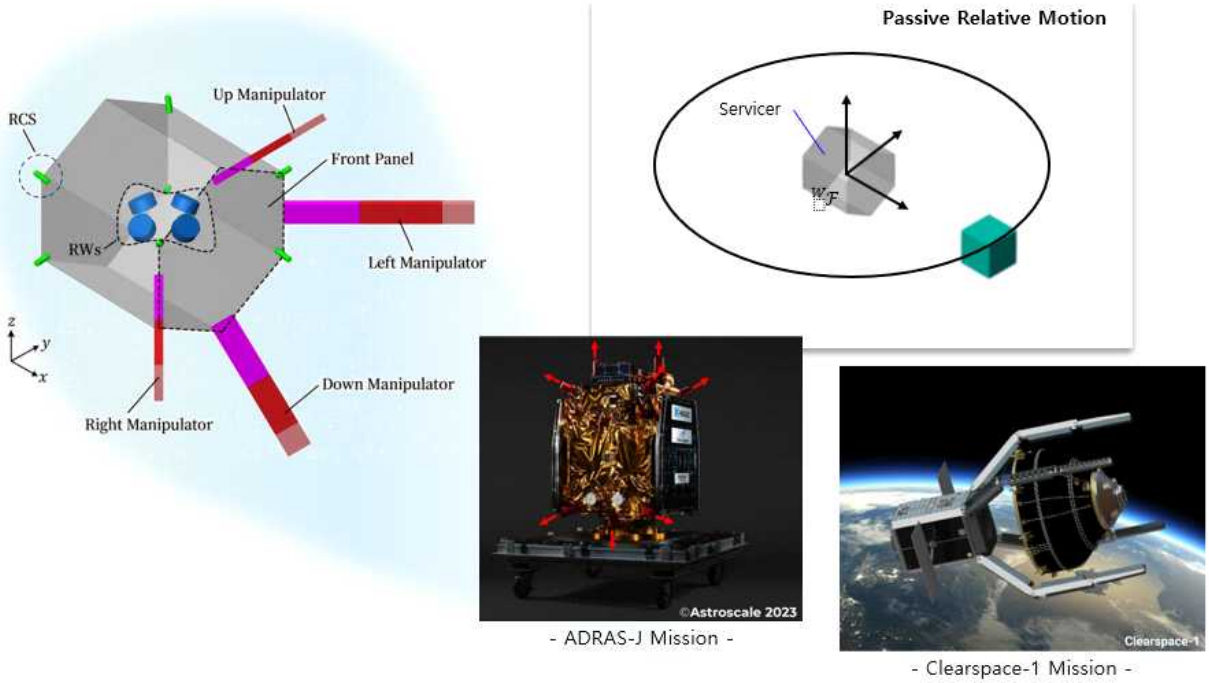


CubeCMG

Diameter	32	$[mm]$
Width	11.5	$[mm]$
Mass	174	$[g]$
Moment of Inertia	2.172×10^{-5}	$[kgm^2]$
Angular velocity	837.758	$[rad/s]$
Angular Momentum	0.0182	$[Nms]$
Gimbal angular velocity	114.5916	$[deg/s]$
Torque	36.4	$[mNm]$

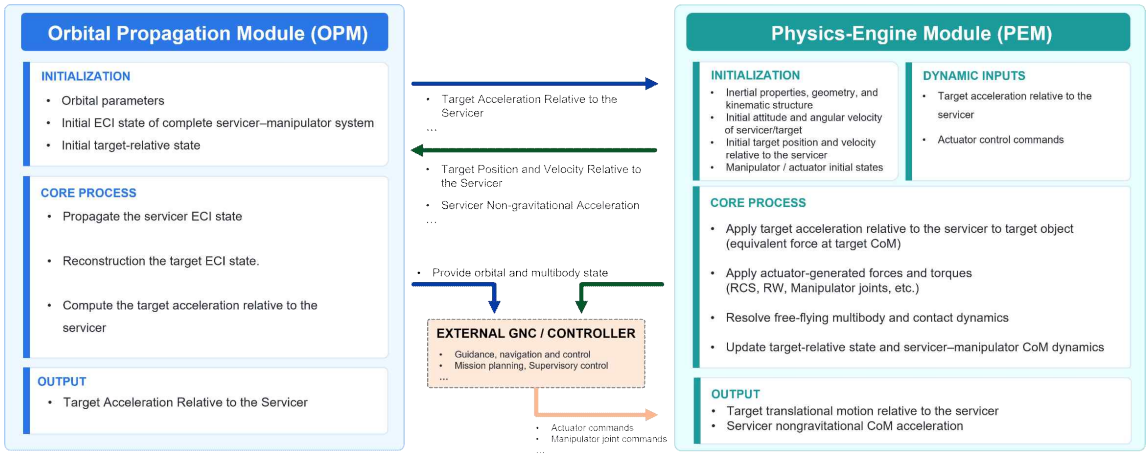
CubeCMG – 3-axis Attitude Control Actuator of S/C

[궤도상 서비스을 위한 End-to-End 동역학 시뮬레이션 프레임워크 개발]



- ADRAS-J Mission -

- Clearspace-1 Mission -



- Orbit Propagation Module (OPM)

Servicer and Target orbital states initialized from Kepler elements. $\{a, e, i, \Omega_{RAAN}, \omega_{AOP}, M_0\} \Rightarrow \begin{pmatrix} {}^{I}r_S^{ORB}(t_0), & {}^{I}v_S^{ORB}(t_0) \\ {}^{I}r_T^{ORB}(t_0), & {}^{I}v_T^{ORB}(t_0) \end{pmatrix}$

1. Servicer ECI-state Propagation

- **Propagate** the servicer state in the ECI Frame

$$
\begin{aligned}
{}^{I}\ddot{r}_S &= -\mu_E \frac{{}^{I}r_S}{\| {}^{I}r_S \|^3} + {}^{W}a_S \\
&= {}^{I}a_{S,g} + {}^{W}a_S
\end{aligned}
$$

${}^{I}a_{S,g}$: serviser orbital acceleration
${}^{W}a_S$: nongravitational CoM acceleration derived in PEM

2. Target ECI-state Reconstruction

- **Reconstruct** the target state wrt the servicer from the PEM

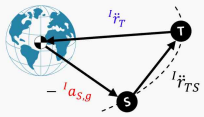
$$
\begin{aligned}
{}^{I}r_T &= {}^{I}r_S + {}^{W}r_{TS} \\
{}^{I}\ddot{r}_T &= -\mu_E \frac{{}^{I}r_T}{\| {}^{I}r_T \|^3}
\end{aligned}
$$

${}^{W}r_{TS}$: target state wrt the servicer derived in PEM

3. Differential Gravitational Acceleration

- Compute the target acceleration wrt servicer.

$$
{}^{I}\ddot{r}_{TS} = {}^{I}\ddot{r}_T - {}^{I}a_{S,g}
$$



${}^{I}\ddot{r}_T$: Orbital acceleration of target wrt ECI

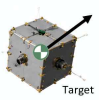
Notation

I : resolved in the ECI frame
S, T : servicer and target
r, v, a : position, velocity, acceleration vectors
W : resolved in World frame
μ_E : Earth gravitational parameter

- Physics-Engine Module (PEM)

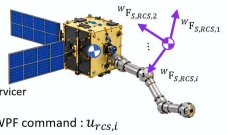
1 Forces, Torques, and Actuator Inputs

$m_T \; {}^{I}\ddot{r}_{TS} \Leftarrow$ OPM



· Target model : Passive Free-Floating Rigid Body.

- RCS thrusters (External force and torque)



· PWM/PWPF command : $u_{rcs,i}$
· External force and moment change the servicer linear and angular momentum.

- RW & Manipulator (Internal momentum exchange)

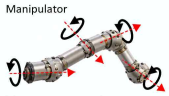
Reaction Wheel



· Torque or Angular Acceleration command : $\tau_{rw,i}$, $\Omega_{rw,i}$

$\cdot \; {}^{W}\mathrm{M}_{S,rw} = \sum_{i=1}^{N_{RW}} {}^{W}\tau_{S,rw,i}$

Manipulator



· joint torque commands : $\tau_{man,i}$

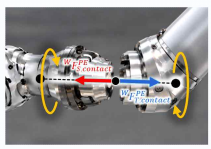
$\cdot \; {}^{W}\mathrm{F}_{S,man} = \sum_{i=1}^{N_{MAN}} {}^{W}\mathrm{F}_{S,man,i}$

$\cdot \; {}^{W}\mathrm{M}_{S,man} = \sum_{i=1}^{N_{MAN}} ({}^{W}r_{S,man,i} \times {}^{W}\mathrm{F}_{S,man,i} + {}^{W}\tau_{S,man,i})$

2 6-DoF Articulated Multibody and Contact Dynamics

- Contact dynamics

$$
\begin{aligned}
{}^{W}\mathrm{F}_{S,contact} &= -{}^{W}\mathrm{F}_{T,contact} \\
{}^{W}\mathrm{M}_{S,contact} &= {}^{W}r_{S,contact} \times {}^{W}\mathrm{F}_{S,contact} \\
{}^{W}\mathrm{M}_{T,contact} &= {}^{W}r_{T,contact} \times {}^{W}\mathrm{F}_{T,contact}
\end{aligned}
$$





- Linear momentum **- Angular momentum**

Servicer

$$
\begin{aligned}
{}^{W}p_S &= m_S \, {}^{W}v_S \\
{}^{W}\dot{p}_S &= {}^{W}\mathrm{F}_{S,ext}
\end{aligned}
\qquad
{}^{W}\dot{\mathrm{H}}_{S,CoM} = {}^{W}\mathrm{M}_{S,ext}
$$

· **Servicer translation**: external nongravitational force from propulsion and contact
· **Servicer rotation**: external nongravitational moment about the system CoM

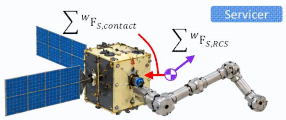
Target

$$
{}^{W}p_T = m_T \, {}^{W}v_T \qquad {}^{W}\dot{\mathrm{H}}_{T,com} = {}^{W}\mathrm{M}_{T,com}
$$

· **Target translation**: target-relative orbital acceleration + contact force
· **Target rotation**: contact-induced moment

3 Resultant External Load and CoM Acceleration

Servicer



$\cdot \; {}^{W}\mathrm{F}_{S\,com} = \sum {}^{W}\mathrm{F}_{S,rcs} + \sum {}^{W}\mathrm{F}_{S,contact}$

$\cdot \; {}^{W}a_S = \frac{{}^{W}\mathrm{F}_{S,ext}}{m_S}$

$\cdot \; {}^{W}\mathrm{M}_{S,CoM} = \sum({}^{W}r_{S,RCS} \times {}^{W}\mathrm{F}_{S,rcs}) + \sum({}^{W}r_{c/S} \times {}^{W}\mathrm{F}_{S,contact})$

· Total external nongravitational force = RCS propulsive forces + servicer-side contact forces

Target



$\cdot \; {}^{W}\mathrm{F}_{T,com} = {}^{W}\mathrm{F}_{T} + \sum {}^{W}\mathrm{F}_{T,contact}$

$\cdot \; {}^{W}\mathrm{M}_{T,com} = \sum {}^{W}r_{c/T} \times {}^{W}\mathrm{F}_{T,contact}$

${}^{W}r_{cS}$: vecter from servicer CoM to contact point
${}^{W}r_{cT}$: vecter from target CoM to contact point

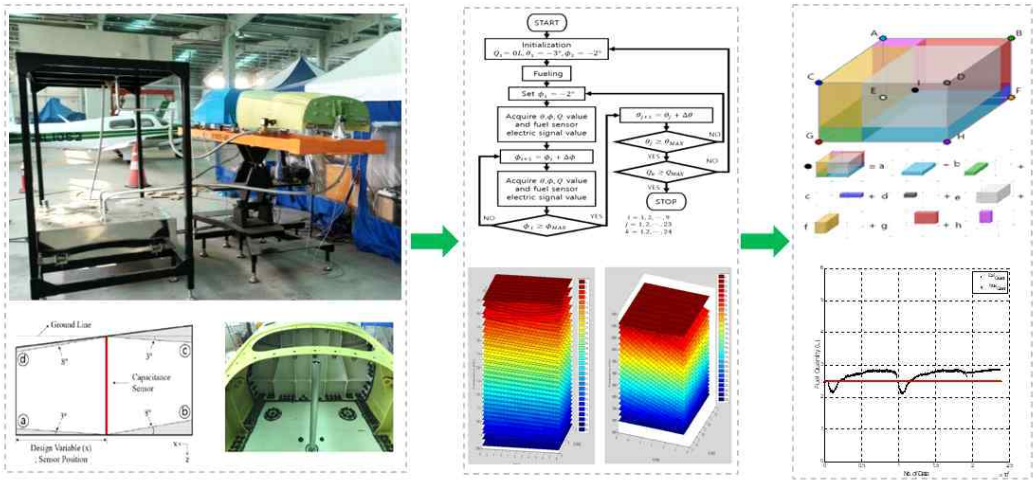
${}^{W}a_{TS}$, ${}^{W}v_{TS}$, ${}^{W}r_{TS}$ and ${}^{W}a_S$ ⇒ To OPM

■ ASCL

- 항공기 시스템 통합 및 미션 운용 제어
- AESA 레이다
- TF 시뮬레이터
- AAM 항법 시뮬레이션
- 항공 전자/센서 시스템
- 달 탐사선
- 무인 우주비행체
- 항공기 인증 표준화

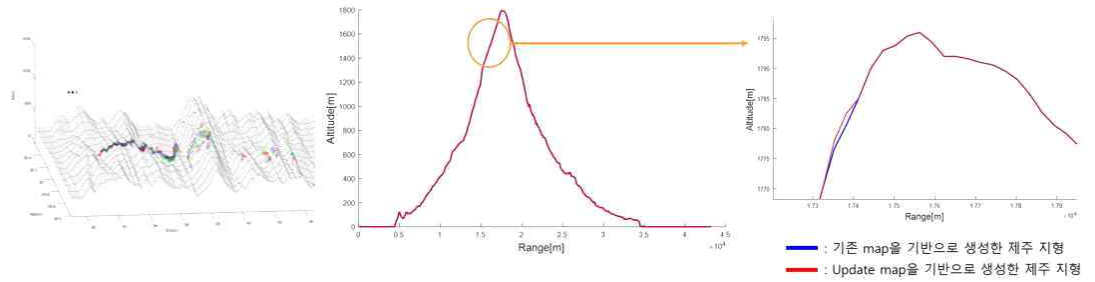
[항공기 시스템 통합 및 미션 운용 제어]

- 초음속항공기 리셉터클 형태 공중급유 시스템 개발
  - 정전용량형 수위 센서를 이용한 항공기 보조연료탱크 연료량 측정시스템 개발
  - 모사시험 장치 설계/제작 → 자동화 소프트웨어 설계/DB 구축 → 추정 알고리즘 적용 FQMS 개발/검증



< 초음속항공기 리셉터클 형태 공중 급유 시스템 개발 >

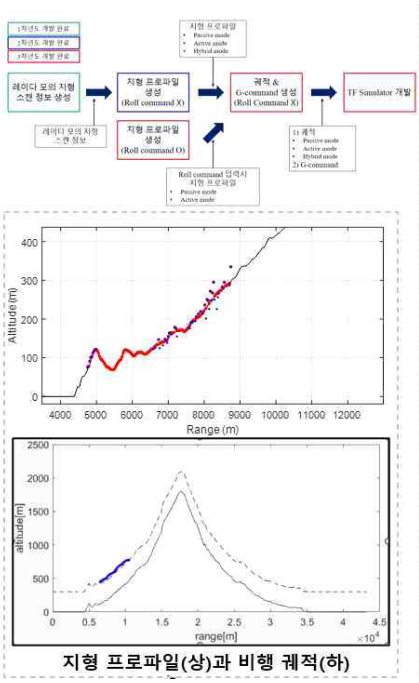
[AESA 레이다]



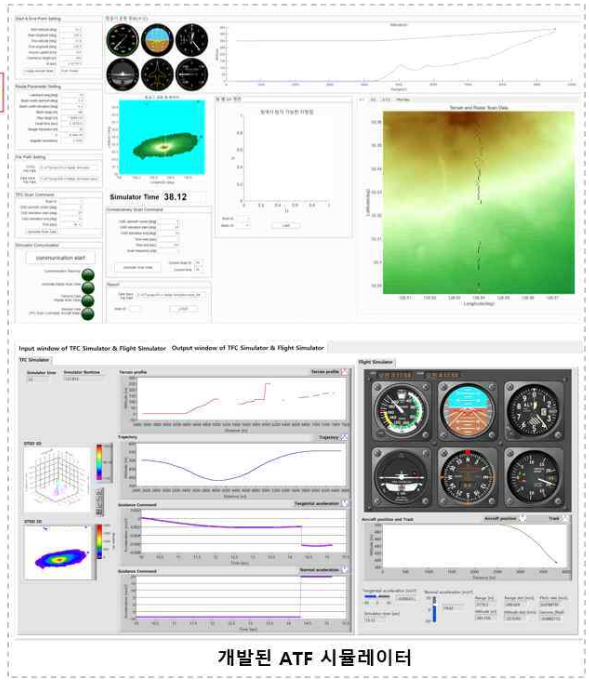
< AESA 레이다 공대지해 탐색 빔 운용 기법 연구 >

[TF 시뮬레이터]

- TF(Terrain Following) 및 Radar 시뮬레이터 개발
  - KF-X 탑재용 AESA 레이더 운용 분석 시뮬레이터 개발
  - AESA 레이다 지형 스캔 명령 생성 알고리즘 개발

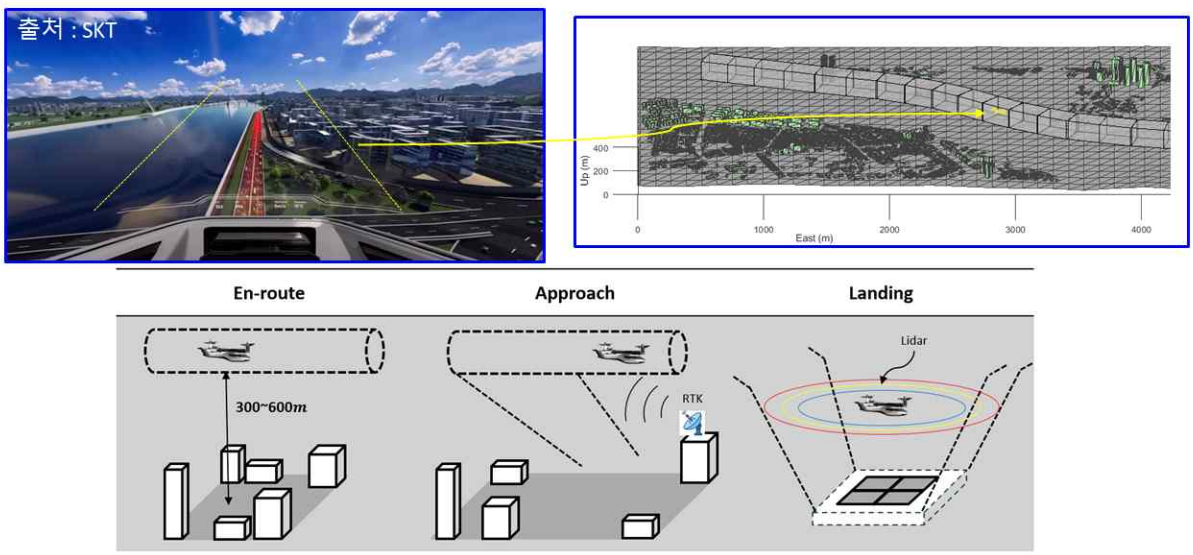


지형 프로파일(상)과 비행 궤적(하)



개발된 ATF 시뮬레이터

[AAM 항법 시뮬레이션]



- AAM의 안전한 도심 비행을 위한 CNSi (항법) 성능 도출
- 성능 충족을 위한 augmentation / 복합항법 분석 및 시뮬레이션

[항공 전자/센서 시스템]

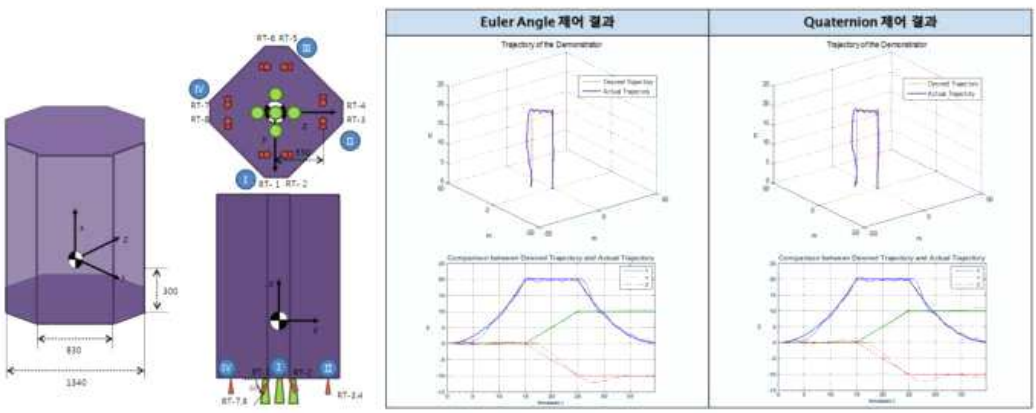
- Integrated Sensor System for Aircraft Navigation
  - 항공기 자세 및 위치 추정을 위한 다중 센서 융합 기술
  - GPS, IMU, 레이저 거리센서, 레이트테이블 등을 이용한 실험적 검증
  - 다양한 항공전자 플랫폼에 적용 가능



- Sensor Signal Processing & System Identification
  - 센서 신호의 실시간 필터링 및 잡음 제거
  - 항공 시스템 상태 추정을 위한 시스템 식별 알고리즘
  - Matlab 기반 시뮬레이션 및 HILS 연동

[달 탐사선]

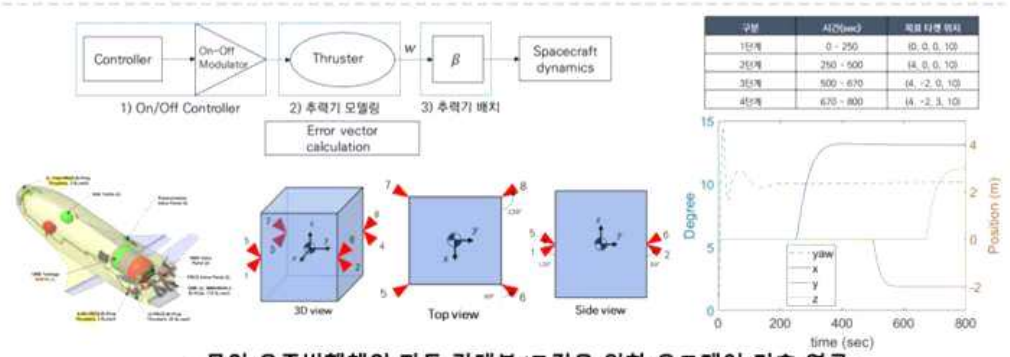
- Lunar Lander Attitude Control System
  - 달 탐사선을 위한 자세제어기 설계 및 동역학 모델링
  - Euler 및 Quaternion 기반 자세 궤적 추정
  - 궤적 생성 및 시뮬레이션 기반 제어기 성능 평가



< 달 탐사선의 시뮬레이션을 위한 동력학적 모델링 및 자세제어 기법 연구 >

[무인 우주비행체]

- On-Orbit Rigid Body Control for Autonomous Docking
  - 무인 우주비행체의 자동 랑데부 및 도킹 유도 제어 기술
  - On/Off thruster 기반 제어기 설계
  - 자세 오차/속도 벡터 기반 유도 알고리즘 구현



< 무인 우주비행체의 자동 랑데부/도킹을 위한 유도제어 기술 연구>

[항공기 인증 표준화]

- Certification of Military and Civil Aircraft
  - 군용/민간 항공기의 감항 인증에 관한 연구
  - 항공관련 한국산업표준 및 ISO 규정 분석



