

2025 제 10 회 초소형위성 워크숍

Presentation [5-7]

**인하대학교 초소형위성 InhaRoSAT
개발현황소개**

최 기 영
인하대학교

인하대학교 초소형위성 INHA RoSAT 개발현황 소개

제10회 초소형위성 워크샵: 대학 위성 개발 및 활용 | 2025/05/30

인하대학교 Inha CubeSat Pioneer, InCuPion

최기영

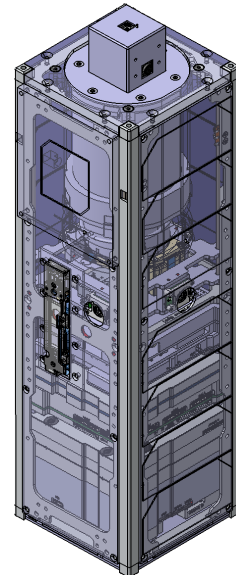


프로젝트 소개



- The **INHA RoSAT**: **IN**fluential, **Herit**AbLe **RO**llable **SOL**ar **AR**ray **TEST**bed

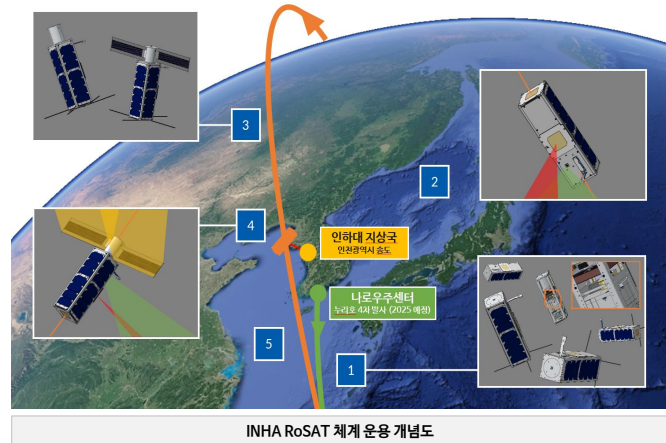
항목	내용	비고
수행 임무	<ul style="list-style-type: none"> • 롤러블 태양전지 모듈의 우주환경 운용 가능성 검증 및 운용 데이터 축적 • 자체설계 OBC 우주 운용 가능 여부 확인 및 우주급 부품 설계/제작 능력 검증 • 비우주급 센서의 우주 환경 운용 및 센서 데이터/고장 이력 기록 • 실제 위성 운용 데이터를 이용한 기존 우주 환경/임무 해석 도구의 정확성 확인 • 인하대학교 인공위성 지상국을 이용한 위성 데이터 수신 및 지상국 운용 경험 축적 	
크기 및 중량	<ul style="list-style-type: none"> • Compliance: 기본 CDS Rev. 14.1 & 일부 KAIROSPACE 발사관 요구조건 • 3U with Extra Space("Tuna Can"), 총 중량 3.84 kg • 108.1 x 108.55 x 371.5 mm (RoSADA 수납 시, 측면 돌출부 포함) 	
주 탑재체	<ul style="list-style-type: none"> • RoSADA(Rollable Solar Array Drum Assembly) • RSP(Rollable Solar Panel): PVSK(플렉셀 스페이스) + CIGS(한국에너지기술연구원) • iOBC(iNHA/in-house On-Board Computer v1.0) 	
임무수명	<ul style="list-style-type: none"> • 6개월 	
위성 통신	<ul style="list-style-type: none"> • UHF Downlink & Uplink: 437.665 MHz (Telemetry & Housekeeping) • S-Band Downlink: 2,417.0 MHz ISM (Housekeeping, Image, Others) 	
개발 예산	<ul style="list-style-type: none"> • 380,000,000 원 	
개발 참여 인원	<ul style="list-style-type: none"> • 총 참여 인원 27명, 현재 참여 인원 19명 	
운용 궤도	<ul style="list-style-type: none"> • 평균고도 600 km 태양 동기궤도, 승교점 지방시 12:30 	
발사 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 누리호 4차 발사의 부탑재체 큐브위성, 2025년 11월 중 발사 예정. 발사관 사출 방식. 	



인하대학교 초소형위성 INHA RoSAT 개발현황 소개

Concept of Operations

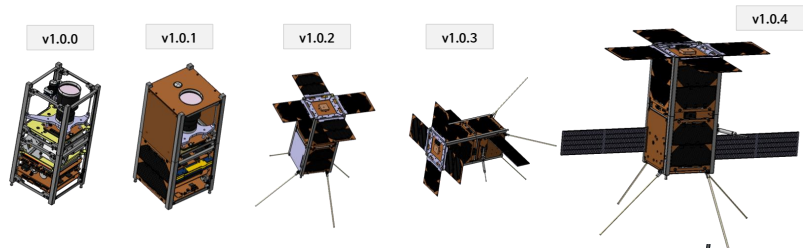
순번	명칭 및 수행 내용	비고
1	궤도 투입 및 초기 획득 단계 - L+D3 <ul style="list-style-type: none"> 발사 및 궤도 투입 누리호 3단으로부터 큐브위성 사출 초기 자세 안정화 (Detumble) 후 UHF 주파수를 통한 Beacon 발신 및 최초 통신 수행 	일회성
2	RoSADA 전개 전 운용 단계 - L+W2 <ul style="list-style-type: none"> RoSADA 전개 없이 정상 운용 Beacon 발신 및 상태정보 기록 지구 이미지 촬영 후 지상 전송 In-House 컴퓨터 및 상용 센서의 운용 정보 축적 	-
3	RoSADA 전개 단계 L+W2 ~ L+W2+3d <ul style="list-style-type: none"> RoSADA 완전전개 구조물 연장-태양전지 전개 각 전개 단계마다 재(再)자세 안정화 수행 (Detumble) 자세 안정화 후 지상과의 UHF 통신 가능 여부 재확인 	일회성 비가역적
4	RoSADA 전개 후 운용 단계 - L+6M <ul style="list-style-type: none"> RoSADA 전개 상태로 정상 운용 Beacon 발신 및 상태정보 기록 지구 이미지 촬영 후 지상 전송 In-House 컴퓨터 및 상용 센서의 운용 정보 축적 	-
5	주 임무 종료 후 운용 단계 - EOL <ul style="list-style-type: none"> 주 임무 종료 Beacon 지속 발신 및 상태 모니터링 위성 교육 프로그램에 활용 	4단계 종료 후 진입



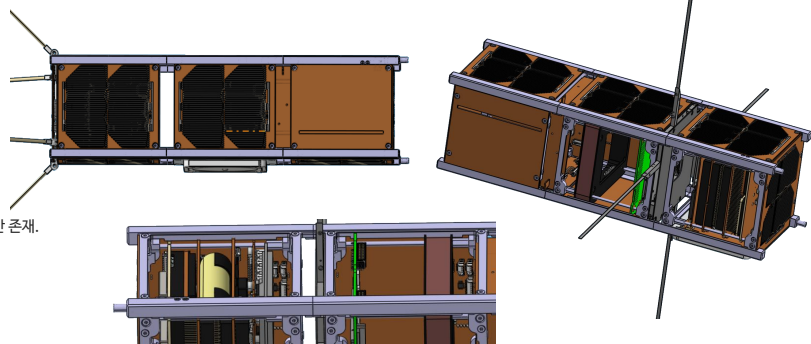
인하대학교 초소형위성 INHA RoSAT 개발현황 소개

형상 변경 기록 1 of 2

- v1.0.0 - v1.0.4 Formerly: C-0.1 to C-0.5
 - 2U, GOMSpace + ISISpace + CubeSpace
 - 주요 형상 제약 사항:
 - 제한된 Bus 및 탑재체 탑재 용적
 - 물리적 용적의 한계 (2U 형상)
 - 제한된 생산 전력 생산량
 - 2U 형상의 제약 내에서 Tradeoff 수행
 - 배터리 확보, 구동기 변경, 카메라 변경 등...

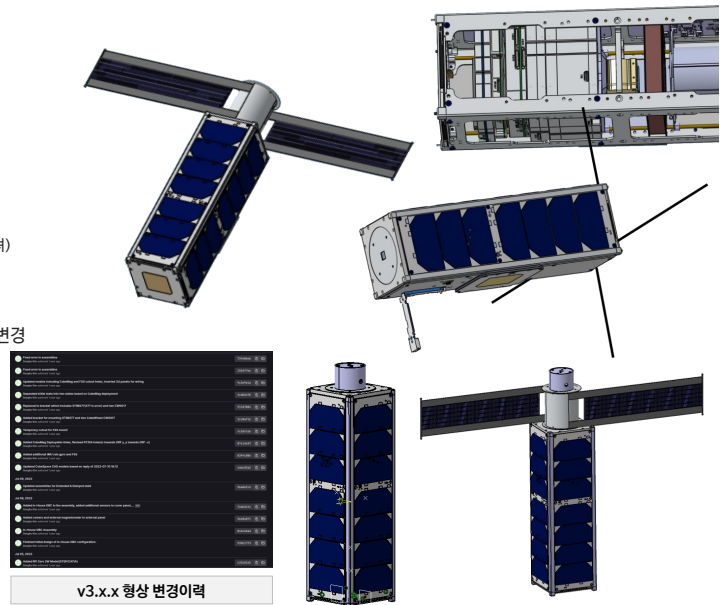


- V2.x.x
 - 3U, GOMSpace + ISISpace + CubeSpace
 - 주요 형상 제약 사항:
 - 제한된 Bus 및 탑재체 탑재 용적
 - 물리적 용적의 한계 (Interstage 용적 손실)
 - COTS 단종으로 인한 설계 변경 지연 우려 (통신 모듈)
 - COTS 조달 일정의 지연 (회신을 받지 못함)
 - EnduroSat COTS로의 전환 결정
 - Interstage가 없는 형상, 중앙의 Main Structure Bar만 존재.
 - 물품 구매와 관련한 빠른 응답과 회신



- v3.x.x
 - 3U, EnduroSat + CubeSpace
 - 현 발표 시점의 최신 형상
 - v3.0.x: Bus 구성 품목을 “뒤집어” 배치
 - 배터리가 중앙에 오도록 해 관성 모멘트를 최소화하고자 함
 - v3.1.x: Bus 구성 품목을 “정방향으로” 배치
 - PC104 Stack의 침단이 중앙으로 오도록 배치
 - PC104 Stack으로의 추가 배선 접근성 개선 (RoSADA 배선 고려)
 - v3.2.x: 초기 버전의 RoSADA 설계 반영
 - v3.3.x: Canister 구조의 RoSADA 설계 반영
 - v3.4.x: S-Band 안테나 단자 간섭 문제로 인한 안테나 위치 변경

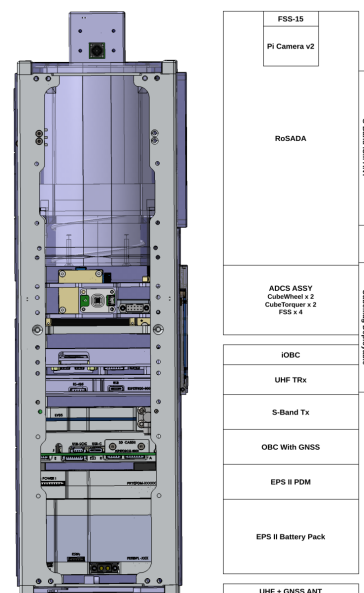
- 형상 주요 특징
 - 주 버스: EnduroSat COTS
 - 구동기: CubeSpace COTS + In-House Structure
 - Interstage 공간 없이, 버스 구성품을 배치
 - UHF 안테나와 GNSS 안테나를 통합한 부품으로 구성



5

Digital Mock-Up 형상

순번	제조사	명칭	비고
1	EnduroSat	EPS II with PDM (42Wh)	• PC104 Stacked
2		In-House OBC with GNSS	• PC104 Stacked
3		S-Band Transmitter (Tx)	• PC104 Stacked
4		UHF Transceiver Gen 2 (TRx)	• PC104 Stacked
5		UHF Antenna 1U Type III with GNSS	• PC104 Stacked
6		S-Band ISM Patch Antenna	• PC104 Stacked
7		3U Solar Panel with opening	• With RBF: 1 EA • Without RBF: 2 EA
8	CubeSpace	CubeTorquer Gen2 CR0002	-
9		CubeTorquer Gen2 CR0003	-
10		CubeWheel Gen 2 CW0017	• 2 EA
11	TensorTech	TensorFSS-15	• 5 EA
12	Raspberry Pi	Pi Camera v2	• 2 EA
13	In-House	iOBC (iNHA iN-House OBC)	• Custom-made • PC104 Stacked
14		RoSADA (Rollable Solar Array Drum Assembly)	• Custom-made



INHA RoSAT의 주 임무 탑재체

- 목적: 국산 RSP의 우주환경 운용 가능성 확인 및 전개 메커니즘의 검증
 - RSP: Rollable Solar Panel

국산 RSP의 우주환경 운용 가능성 확인

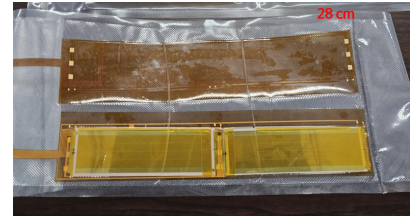
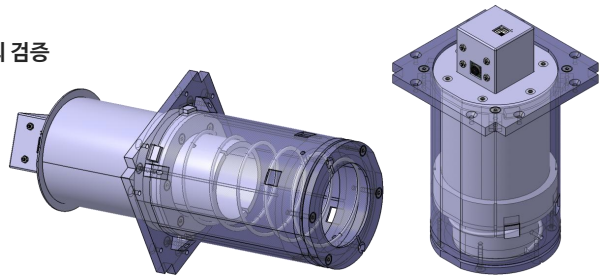
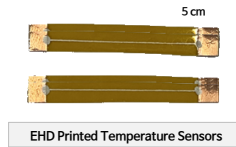
- 양 “날개에” 유연 셀 사용. 플렉셀 스페이스 제작 PVSK 셀 탑재

태양전지 상태량 측정을 위한 센서 탑재

- Photodiodes & Temperature Sensor (On FPCB)
- EHD-Printed Temperature Sensor

큐브위성 유연 태양전지 전개 메커니즘의 검증

- 내부에 수납된 유연 태양전지가 전개되는 방식
 - 기존 전개형 태양전지에 대한 새로운 대안



RSP Flexible PCB 제작품 (플렉셀스페이스)

유연 구조물의 운용시 발생할 수 있는 이슈를 예상하고 대응하는 것이 목적

- 유연 태양 전지 지지체 진동 발생 시, ADCS를 이용한 자세제어 기법 등
- 광학 카메라(Pi Camera v2)를 이용한 태양전지의 물리적 상태 관측 가능

7

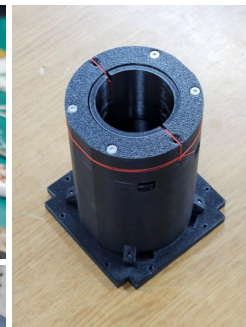
RoSADA 구조

“Canister” 구조물 내에 드럼 구조물이 위치

- Canister 내에 장입된 스프링이 드럼 구조물을 밀어냄
- 폴리에틸렌 Burn-Wire를 이용해 드럼 구조물을 장입
- 저항소자를 이용해 Burn-Wire를 끊고, 전개하는 방식

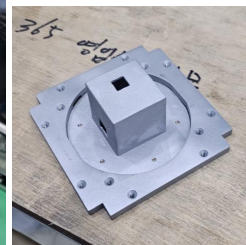
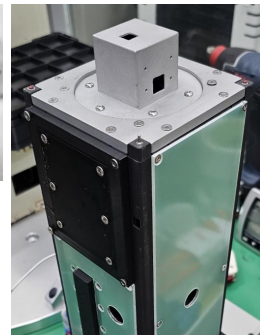
RSP: “테이프 스프링 커튼”

- 커튼에서 영감을 받은 FPCB 절단 구멍과 출자 테이프 스프링의 결합
- 테이프 스프링에 대한 RSP 결합이 점 단위로 이뤄져 변형 파괴 방지



제작 방식: 금속 적층 가공 또는 절삭 가공

- 복잡한 형상으로 금속 적층 가공을 우선 고려
- 금속 적층가공을 이용한 DM 제작 수행



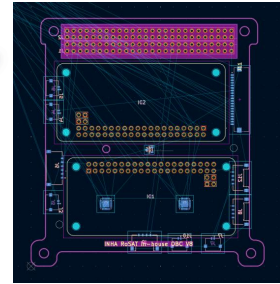
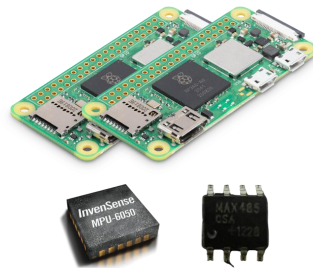
카메라 배치

- 드럼의 최 상단 3U Extra Space에 배치, 발사관에 대한 규격을 충족
- RSP를 화각에 담고, 구조물 간섭이 없는 FOV를 고려

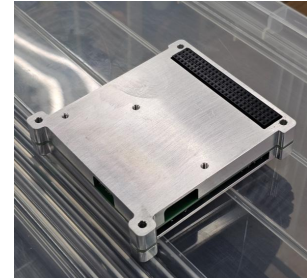
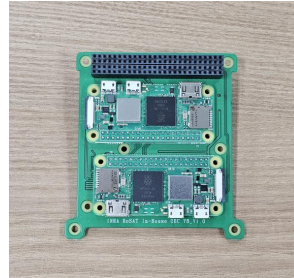
8

- POSIX 호환, cFS 탑재가 가능한 OBC
 - Raspberry Pi Zero 2W 이중 구성

항목	사양	비고
CPU	ARM Cortex-A53 (64-bit), Quad-Core 1GHz	RP3A0(BCM2710A1)
RAM	SDRAM, 512 MB	-
Connection	<ul style="list-style-type: none"> microSD Card Slot x 1 EA CSI-2 Camera Connector x 1 EA HAT-compatible 40-pin header Micro USB Type-B x 2 EA 	-
Misc.	<ul style="list-style-type: none"> Raspberry Pi OS Lite 12 H.264, MPEG-4 decode (1080p30) H.264 encode (1080p30) 	Debian 12 (bookworm)



- 추가 센서 및 Peripheral의 탑재
 - 직렬 통신과 추가 아날로그 채널 확보
 - MAX485_(RS-485), MAX232_(RS-232), TLV2543IDB_(ADC)...
 - 상용 센서 시험 및 Redundancy 구성을 위한 IMU
 - TDK InvenSense MPU-6050
- cFS 기반의 비행 소프트웨어 탑재
 - 최신 안정버전인 v6.7.0 "Aquila" 기반의 FSW 탑재
 - MATLAB-Simulink와 연계한 MBD 기반 FSW 구성 가능

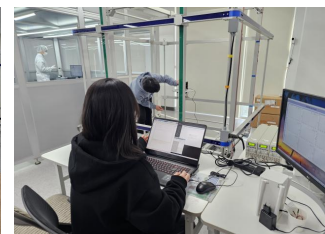
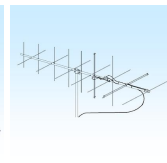
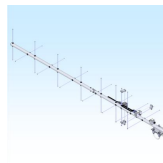


9

인하대학교 초소형위성 INHA RoSAT 개발현황 소개

지상국 및 통합 시설

- 주파수 등록 현황
 - ITU 주파수 등록 절차 진행중
 - UHF: 437.665 MHz, 대역폭 30 KHz
 - S-Band: 2417.0 MHz, 대역폭 2 MHz
 - 아마추어 무선국 등록
 - 인하대학교 항공우주융합캠퍼스
 - 등록번호: 92-2023-10-0000436
- 신호처리 하드웨어 구성
 - SDR + VHF/UHF/S-Band Antenna
 - USRP X310 SDR
 - M2 A.S. 2MCP14 (VHF) & M2 A.S. 436CP16(UHF)
 - 2.99m Parabolic + RF HAMDESIGN CIR-2320 (S-Band)
- 시스템 조립 및 통합 시설
 - 인하대학교 항공우주융합캠퍼스 통합/시험 시설 구성
 - 조립 및 통합: 양압식 클린 부스
 - ADCS 기능시험: 헬름홀츠 케이지



10

인하대학교 초소형위성 INHA RoSAT 개발현황 소개

Lessons Learned



- 1. COTS 조달에 걸리는 시간과 물품 검수
 - 일반적으로 12주 ~ 16주 정도의 Lead Time이 요구됨
 - 많은 서류 작업도 요구됨으로 반드시 행정 전달 인원 배치
 - FSW 개발에 실 하드웨어가 필요할 수 있기 때문에 기간을 반드시 고려**
 - 특수한 경우 통합을 위한 부품 조달에 더 긴 시간이 걸리기도 함
 - 수출 서류로 인해 추가적인 작업도 늘어나고, Lead Time도 더 걸림
 - Ex. GNSS 수신기 조달로 인한 OBC 조달 지연
 - 요청한 것과 다른 형상의 COTS가 도착하는 경우도 있음
 - 형상이 맞더라도, 치수가 맞지 않는 경우가 있을 수도 있음!
 - 매 경우, 반드시 수령 후 Fit-Check나 기능 시험을 수행할 것**
 - 전기적이든 기계적이든 항상 직접적인 확인이 필요함**
 - 관부가세 면제와 같은 행정 절차에 대한 전달 인원이 필요함
 - 관세 80% 감면 (관세법 제90조), 부가세 면제.
 - 학교와 담당 기관 사이의 행정작업 Return이 많이 필요함
 - "국내제작 관련물품 추진 신청서", "기계용도설명서"
 - H/S 코드 조회, 국가 별 FTA 최저 관세율 등...
 - 행정 처리가 늦어질 경우 보세 비용까지 상당히 발생
 - 업무가 겹칠 수 있음으로 전달 인원을 두어 반드시 빠르게 처리할 것!**

- 2. FSW 기능 구현_{1 of 2}
 - 제조사에서 제공하는 SDK를 기반으로 작업을 진행하게 됨
 - SDK와 Test/Telemetry용 GUI를 같이 제공하기도 함
 - 이러한 도구의 사용에 빠르게 익숙해져야 할 필요가 있음
 - Ex. EnduroSat OBC SDK + EnduroSat SpaceDev
 - 이러한 SDK가 모든 구성품에 대해 제공되지 않을 수 있음
 - 일부 모듈에 대해서는 Built-In 펌웨어에 의존, Param. 수정만 가능

요약:

1. 모든 것을 의심하고
2. 모든 것을 확인하고
3. 모든 것을 검증하라

11

인하대학교 초소형위성 INHA RoSAT 개발현황 소개

Lessons Learned



- 2. FSW 기능 구현_{2 of 2}
 - FSW 기능 구현 과정에서는 아래와 같은 문제점들이 발생할 수 있음:
 - 아래 문제에 대한 해결책은 "철저한 기능 시험 수행"임**
 - 제조사가 예상하지 못한 소프트웨어적/하드웨어적 문제
 - 지속적으로 COTS의 설계를 변경하기 때문에 문제가 생길 수 있음
 - 이러한 리비전에 따른 형상 변경이 특정 기능 구현의 문제가 될 수 있음
 - 운이 좋은 경우 알려진 버그여서 펌웨어 패치 만으로도 해결할 수 있음
 - 하드웨어 형상 변경에 의한 것이라면, 문제가 더 심각해짐
 - 소프트웨어 버전에 따른 기능 작동 문제
 - 소프트웨어 버전에 따라 그 구조가 상이하게 변할 수 있음
 - 버전 변경 간 버그가 해결 될 수도, 새롭게 생겨날 수도 있음
 - 이러한 "버전"은 통제할 수 없는 펌웨어에 의존성이 있기도 함
 - 제조사가 형상 관리를 엄격하게 하지 않거나, 이력을 공개하지 않음
 - 제조사가 주 사용 플랫폼으로 개발할 것을 권장
 - Windows, Linux 개발 환경을 모두 제공하는 경우가 있음
 - 그럼에도 제조사가 자주 사용하는 환경에 대해 개발함을 권장

- 3. 매뉴얼/자료 상의 불일치 사항
 - 문서의 제시 내용을 끊임없이 확인하고 문의해야 함
 - CAD 모델 역시 문제가 없는지 실제 모델과 계속해서 비교해야 함
- 4. 지상국 구성을 위한 법적 절차
 - ITU 주파수 등록 및 IARU 조정 절차 수행을 미리 하는 것이 좋음
 - 주파수 대역이 근접한 팀이 있을 수 있으므로 이를 확인함이 좋음
 - IARU 조정 절차는 법적 요건은 아니지만, 몇 가지 불이익이 있을 수 있음
 - IARU 신청 전에는 한국아마추어무선연맹에 먼저 문의할 것
- 5. 환경 시험 시설 예약과 제작 Workmanship 확보
 - 환경 시험 시설의 예약과 사용에 기간과 자금의 문제가 있을 수 있음**
 - 약 2,000 - 4,000만 원 정도의 환경 시험 비용을 사전에 책정해야 함
 - 환경 시험 시설의 사용은 최소 6 - 8개월 전 미리 문의해 예약함이 좋음
 - 또는 주변에 대체 가능한 시설이 있는지 알아보는 것도 좋음
 - 제작과 조립 Workmanship을 확보해야 함. 가공이면 그 중요성이 높아짐**
- 6. 문서의 작성, 보관과 형상 관리 (CAD, 문서, SDK, 시험결과...)
 - 다수의, 다수 소속의 인원이 개발에 참여할수록 정보의 추적성 확보가 어려워짐
 - 형상 관리 시스템 또는 Groupware의 사용을 추천함 (셀프 호스팅 가능)
 - 추천 소프트웨어: GitLab, OnlyOffice, Notion 등...

12

인하대학교 초소형위성 INHA RoSAT 개발현황 소개

THANK YOU

Point-of-Contact:	
MAIL	kestrel@inha.edu
TEL	032-720-9032
CELL	+82 010-5711-1594

