

발간등록번호
11-1360559-000159-01



온실가스 감시를 위한 초소형기상위성 개발 전략 정책연구

2023년

온실가스 감시를 위한 초소형기상위성 개발 전략 정책연구

2023. 11.

연구기관: 한국천문연구원



정책연구 최종보고서

과 제 명	국문	온실가스 감시를 위한 초소형기상위성 개발 전략 정책연구		
	영문	Policy research on development strategies for ultra-small meteorological satellites for greenhouse gas monitoring		
주관연구기관 (공동연구기관)	기 관 명	소 재 지	대 표	
	한국천문연구원	대전	박영득	
주관연구책임자 (공동연구책임자)	성 명	소 속	전 공	
	박성준	한국천문연구원	물리학	
총 연구기간 (당해년도)	2023. 07. 03. ~ 11. 30. (5개월)			
총 연구비 (당해년도)	일금 칠천육백사십사만원 정 (₩ 76,440,000)			
총 참여연구원 (당해년도)	총 5 명	책임연구원	1 명	
		연구원	3 명	
		연구보조원	1 명	
		보조원	0 명	
연구 주요내용	<p>2023년도 정책연구의 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다.</p> <p style="text-align: right;">붙임: 최종보고서 30부</p> <p style="text-align: center;">2023년 11월 30일</p> <p style="text-align: center;">주관연구책임자 박 성 준 인 주관연구기관장 박 영 득 직인</p> <p style="text-align: center;">기 상 청 장 귀 하</p>			

본 보고서를 “온실가스 감시를 위한 초소형기상위성 개발 전략
정책연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2023년 11월 30일

주관연구책임자 박 성 준 인

주관연구기관장 박 영 득 직인

제 출 문

본 보고서를 "온실가스 감시를 위한 초소형기상위성 개발 전략 정책연구" 최종보고서로 제출합니다.

- 주관연구기관명: 한국천문연구원
- 연 구 기 간: 2023. 07. 03. ~ 11. 30. (5개월)
- 주관연구책임자: 한국천문연구원 박성준
- 참 여 연 구 원
 - 한국천문연구원 이재진
 - 한국천문연구원 박재흥
 - 한국천문연구원 손종대
 - 한국천문연구원 송호섭

※ 주관연구기관 및 주관연구책임자, 연구원은 실제 연구에 참여한 기관 및 자의 명의로 함

2023년 11월 30일

기상청장 귀중

목 차

요약	I
I. 사업 개요	1
1. 연구의 배경·필요성 및 목적	1
2. 연구의 내용 및 범위	1
II. 주요 현황 분석	4
1. 초소형위성 관련 정책동향 분석	4
2. 국내외 초소형위성 산업 동향 분석	23
3. 초소형위성 기술개발 동향 분석 및 미래전망	28
4. 정책환경 분석을 통한 초소형기상위성 기술개발 필요성	33
5. 기상청의 개발 주도 타당성과 연계 협력 방안	40
6. 종합 및 시사점	44
III. 온실가스 초소형위성 개발을 위한 사용자 요구사항 분석	48
1. 온실가스 감시 위성 개발 현황	48
2. 온실가스 감시에 필요한 과학 요구사항 분석	55
3. 온실가스 감시 초소형기상위성 개발 가능성 검토	63
4. 종합 및 시사점	92
IV. 온실가스 감시 초소형기상위성 개발 방안 분석	95
1. 비전 및 목표	95
2. 추진전략	96
3. 중점분야별 핵심기술 개발 계획	100
4. 기술개발 로드맵	107
5. 활용 방안	109
6. 소요예산 및 기대효과	112
V. 결론	115
1. 종합: 기상청 주도의 초소형위성 개발 타당성	115
2. 정책제언	116
[참고문헌]	118
부록	120
1. 초소형위성 관련 기술	120
2. 전문가 자문위원 활용	124

표 목차

표 1-1 [본 연구의 주요내용]	2
표 2-1 [국정과제 79.우주강국 도약 및 대한민국 우주시대 개막 주요 내용]	4
표 2-2 [국정과제 주요내용 별 세부 추진현황]	5
표 2-3 [제4차 우주개발진흥기본계획의 5대 우주개발 임무 별 세부 추진계획]	8
표 2-4 [제4차 우주개발진흥기본계획의 2대 실천 전략을 위한 세부내용]	9
표 2-5 [국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)의 세부 과제 중 위성관련 부문]	11
표 2-6 [초소형위성 개발 이행안(로드맵)의 세부 추진과제]	14
표 2-7 [우주산업 전문인력 양성 추진방안의 중점전략 및 세부추진과제]	15
표 2-8 [제4차 기상업무발전 기본계획 세부추진과제 중 위성개발관련 주요내용]	16
표 2-9 [국내 위성관련 주요기업 기술개발 동향]	29
표 2-10 [2019~2022년도 초소형위성 분야 정부R&D 투자규모 연차별 추이]	31
표 2-11 [온실가스 관련 국제규제 및 협약]	35
표 2-12 [국내 관련법 주요내용]	36
표 2-11 [온실가스 관련 국제규제 및 협약]	35
표 2-12 [국내 관련법 주요내용]	36
표 2-13 [국정과제 79.우주강국 도약 및 대한민국 우주시대 개막 주요 내용]	37
표 2-14 [국가·부처계획 주요내용]	38
표 2-15 [기상청 대기관측 현황]	40
표 2-16 [기상청 온실가스관련 주요 선행연구]	41
표 2-17 [국내외 초소형위성 관련 정책동향 분석 주요 내용 및 시사점]	44
표 2-18 [국내외 초소형위성 관련 산업동향 분석 주요 내용 및 시사점]	44
표 2-19 [국내외 초소형위성 관련 기술동향 분석 주요 내용 및 시사점]	45
표 2-20 [기상청의 초소형위성 개발 주도 타당성 관련 주요 내용]	45
표 3-1 [해외 주요국 온실가스 관측위성 현황]	50
표 3-2 [기상청의 위성관련 주요 선행연구]	54
표 3-3 [모의 시험을 위한 초기 변수]	56
표 3-4 [초분광 탑재체 사양의 도출]	58
표 3-5 [기본 광학 사양의 도출]	61
표 3-6 [주요 개발 목표]	63
표 3-7 [소요 기술 및 기술확보 현황]	63
표 3-8 [국내 연구소 초소형 및 소형위성 개발 사례]	65
표 3-9 [국내 대학 초소형 및 소형위성 개발 사례]	66
표 3-10 [국내 산업계 초소형 및 소형위성 개발 사례]	69
표 3-11 [국내 초소형위성 관련 산업체 현황]	71
표 3-12 [하드웨어 관련 체계개발의 기술준비도]	74
표 3-13 [국내 초분광 탑재기 관련 기술준비수준]	76
표 3-14 [국내 초소형위성체 관련 기술준비수준]	81

표 3-15 [국내 소형위성체 관련 기술준비수준]	84
표 3-16 [국내 지상국 관련 기술준비수준]	87
표 3-17 [개발목표 및 범위]	92
표 3-18 [소요 기술 및 현황]	92
표 3-19 [국내 관련 산학연 현황 및 기술준비수준 주요 내용 및 시사점]	93
표 4-1 [온실가스 감시 초소형기상위성개발 추진전략]	98
표 4-2 [체계 종합 개발의 개요 및 목표]	100
표 4-3 [체계 종합 개발의 기술구성]	100
표 4-4 [탑제체 개발의 개요 및 목표]	101
표 4-5 [탑제체 개발의 기술구성]	101
표 4-6 [위성체 개발의 개요 및 목표]	103
표 4-7 [위성체 개발의 기술구성]	103
표 4-8 [지상국 개발의 개요 및 목표]	106
표 4-9 [지상국 개발의 기술구성]	106
표 4-10 [온실가스 감시 초소형기상위성개발 1차 목표]	107
표 4-11 [온실가스 감시 초소형기상위성개발 2차 목표]	108
표 4-12 [기상청 온실가스 감시 지상원격관측시스템]	110
표 4-12 [사업 소요예산(안)]	112
표 부록-1 [분광기의 사양을 결정하는 제한조건]	122
표 부록-2 도출된 분광기의 사양	123
표 부록-3 분야별 자문위원 구성	124

그림 목차

그림 2-1 [제4차 우주개발진흥기본계획의 비전 성과목표 및 추진전략]	7
그림 2-2 [국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)의 비전 및 전략]	12
그림 2-3 [초소형위성 개발 이행안(로드맵)의 비전·목표·추진전략 및 세부 추진과제]	13
그림 2-4 [제4차 기상업무발전 기본계획의 비전 및 목표]	17
그림 2-5 [한국천문연구원이 개발 중인 도요셋(SNIPE) 기술검증 모델]	23
그림 2-6 [GOMspace사가 판매하는 큐브위성 6U 구조물(좌) 및 부품 예시(우)]	26
그림 2-7 [전세계 TCCON 감시망 구축현황]	34
그림 2-8 [WMO 글로벌 온실가스 감시 페러다임]	36
그림 3-1 [NASA A-train Constellation]	49
그림 3-2 [온실가스 감시 위성들 현황]	50
그림 3-3 [온실가스 초분광 탐측기 사양 동향]	51
그림 3-4 [대기관측용 위성 센서의 시공간 해상도 개발 경향]	52
그림 3-5 [SNR 변화에 따른 복사 스펙트럼 변동 - 노이즈가 없는 스펙트럼에 대한 차이]	58
그림 3-6 [평균 CO ₂ 농도 증가에 따른 스펙트럼 변화]	58
그림 3-7 [온실가스 감시 위성의 3가지 관측 모드]	60
그림 3-8 [지구에 반사되는 태양빛의 복사량]	60
그림 3-9 [NASA에서 정의한 기술준비수준]	75
그림 4-1 [온실가스 감시 초소형기상위성 개발의 비전 및 목표]	95
그림 4-2 [SWOT 분석을 통한 추진전략 도출]	96
그림 4-3 [SWOT 분석을 통한 주요 전략 추진방향 도출]	97
그림 4-4 [일본 GOSAT, TCCON 자료 비교 검증]	111
그림 부록-1 [성간물질(ISM)에 의한 별빛의 소광과 스펙트럼에 발생하는 흡수선]	120
그림 부록-2 [분광분해능의 개념]	121
그림 부록-3 [담금회절격자의 예]	123

약어표

약어	원말	국문
AI	Artificial Intelligence	인공지능
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	미국 국방고등연구계획국
ESA	European Space Agency	유럽우주국
FTS	Fourier Transform Interferometer	푸리에 변환 간섭계
ISS	International Space Station	국제우주정거장
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	일본 우주항공연구개발기구
NISS	Near-infrared Imaging Spectrometer for Star formation history	근적외선 영상/분광기
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	미국 국립기상청
OPD	Optical Path Difference	광경로차
TRL	Technology Readiness Level	기술성숙도/기술준비수준
UKSA	UK Space Agency	영국우주국
WMO	World Meteorological Organization	세계 기상기구

요 약

I. 서론

□ 연구목적

- 본 연구는 온실가스 감시용 초소형기상위성의 개발 타당성 및 국내 개발 가능성을 분석하고, 나아가 개발 전략 수립과 중장기 로드맵을 제시하는 것을 목적으로 함

□ 연구의 내용 및 범위

- 국내외 초소형위성의 정책 동향과 미션 수요를 조사함과 동시에, 온실가스 감시용 초소형 위성 개발을 위한 국내외 관련 정책 및 산업동향, 미래전망 등 분석
- 상기 분석결과를 바탕으로 기술개발 필요성을 도출하고 이에 따른 추진전략, 중장기 로드맵 등을 제시

II. 주요 현황 분석

1. 국내외 초소형 위성 관련 정책동향 분석

구분	주요 내용 및 시사점
국내	<ul style="list-style-type: none">○ 정부는 제4차 우주개발진흥기본계획 등에 초소형 위성 개발의 국가 지원 계획을 명시하고 다양한 공공 임무 달성에 활용할 예정○ 특히 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)을 통해 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합 위성 개발에 있어 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용 플랫폼 구축의 주관기관을 기상청으로 명시하여 사업추진 정당성 확보
해외	<ul style="list-style-type: none">○ 뉴 스페이스 시대에 맞춰 국가가 주도하되 민간 참여를 유도하는 방향으로 변화 중 - 해외는 민간의 초소형 위성 개발 준비, 개발 역량이 확보되어 있음○ 소형 위성의 높은 활용도와 관련 시장의 성장 잠재력을 고려하여 각국의 정부는 적극적인 생태계 조성 및 서비스의 소비자 역할을 수행

2. 국내외 초소형 위성 관련 산업동향 분석

구분	주요 내용 및 시사점
국내	<ul style="list-style-type: none">○ 큐브 위성 시장의 초기 진입장벽이 낮은 장점을 활용하여 최근 정부 R&D 지원 및 자체 투자를 통해 다수의 기업이 진출하고 있음○ 국내의 초소형 위성 개발에 뛰어들어 기업들은 증가하는 추세이지만, 기술 개발 경험과 헤리티지가 해외 주요국에 비해서 부족한 실정
해외	<ul style="list-style-type: none">○ 소형 위성 대수 급증에 따라 위성 제작 및 부품 산업이 크게 성장하고, 부품의 표준화와 상업화는 소형 위성 시장 성장의 주요 동력으로 작용○ 해외 주요국의 경우, 많은 개발 경험의 축적으로 초소형 위성 개발은 많은 부분 민간의 영역으로 이양된 상태임

3. 국내의 초소형위성 기술 동향 분석

구분	주요 내용 및 시사점
국내	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라 최초의 인공위성인 우리별 1호를 시작으로 국내 소형위성은 우주환경 검증과 우주과학을 목적으로 개발이 진행되고 있음 ○ 뉴 스페이스 시대의 도래와 함께, 개발비용이 중대형위성 대비 상대적으로 저렴한 이점을 이용하여 산학연을 중심으로 다양한 미션들이 시도되고 있음 - 초소형위성 개발 및 발사되어 일부 운영중이지만 국내의 초소형위성의 기술개발 수준은 아직 초기단계로서 기술의 고도화, 체계화 및 운영 노하우 습득이 필요함
해외	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고비용 고신뢰성 부품을 사용하는 중대형위성과 달리 소형위성은 상대적으로 저비용 저신뢰성의 상용부품을 사용하고 대량 생산을 통해 리스크 저하를 추구 ○ 동일 위성체의 대량 생산이 이루어지면서 군집운용(Satellite Constellation)이 용이해지고 중대형위성의 단점을 보완한 새로운 위성정보 서비스가 가능해짐

4. 기상청의 개발 주도 타당성

<p>1. 관련법에 명시된 기상청의 고유 업무영역에 부합</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 탄소중립기본법 및 동법 시행령에서 기후감시, 기후변화 조사, 대기 중의 온실가스 농도 변화 상시 측정·조사 등을 기상청의 고유 업무영역으로 규정하고 있음 ○ 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률 제정(안)을 통해 기상청이 탄소중립기본법에 따른 기후 위기에 대한 감시 및 예측 총괄·지원 기관으로서 탄소중립을 지원하기 위한 체계적인 근거를 마련
<p>2. 중앙정부 계획에서의 주관부처로 명시</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 중앙정부 계획인 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)의 경우 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발의 주관부처로 기상청을 명시하고 있음 - 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발에서 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축은 기상청으로 지정되어 있음
<p>3. 기상청의 온실가스 감시의 경험·노하우 및 임무의 연속성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기상청은 1987년부터 기후변화의 요인이 되는 물질들의 농도 변화를 파악하기 위해 배경 대기 관측을 수행하고 있음 ○ 기상청은 2012년부터 위성을 이용한 온실가스 산출기술 개발 사업 등을 수행하여 온실가스 관측 위성데이터의 실질적 활용방안을 제시해 오고 있음 ○ 기상청(국립기상과학원)에서는 온실가스 감시를 위한 지상관측망(TCCON 사이트)을 활용하여 한반도 저층 대기의 CO₂ 총량 산출을 수행 중임

Ⅲ. 온실가스 초소형위성 개발을 위한 사용자 요구사항 분석

1. 개발 목표

항 목	개발 범위	
체계종합	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임무 설계 ○ 시스템 인증모델 열진공 및 진동 우주환경시험 ○ 인증모델 체계 일정/인력/예산/품질/위험 관리 ○ 발사체 선정, 발사 및 운용 	
탑재체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초분광 탑재체 인증모델 설계 및 제작 ○ 초분광 탑재체 인증모델 성능 시험 및 검교정 ○ 검출기 구동 및 처리 전자부 개발 ○ 산출 알고리즘 개발 	
위성체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성 본체 인증모델 개발 및 시험 ○ 원격측정 명령계 ○ 비행소프트웨어 개발 ○ 전력계 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열구조계 ○ 자세제어계 ○ 통신계 ○ 추진계(필요시)
지상국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지상국 운용 ○ 자료처리 소프트웨어 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비행임무 소프트웨어 ○ 지상 안테나 시스템

2. 소요 기술 및 기술확보 현황

연구 대상 분야	구성품	소요기술	기술보유여부
체계종합	임무설계	본체 설계 및 해석 기술	확보
	시험 및 검증	시험 및 검교정 기술	확보
	발사 인터페이스	발사관 기술	확보
탑재체	초분광 근적외 탐측기	광학계 설계 및 정렬 기술	부분 확보
	초분광 근적외 탐측기	센서 구동 기술	확보
위성체	열구조계	구조 및 열제어 기술	확보
	비행소프트웨어계	비행소프트웨어 기술	확보
	원격측정 명령계	원격측정명령기술	확보
	자세제어계	자세 결정 및 제어 기술	확보
	통신계	통신계 기술	확보
	전력계	전력계 기술	확보
	추진계 (필요시)	추력기 기술	미확보
지상체	지상국 소프트웨어	지상국 소프트웨어 기술	확보
	자료처리 소프트웨어	초분광 영상 처리 기술	미확보

IV. 온실가스 감시 초소형기상위성 개발 방안 분석

1. 비전 및 목표

비전	국내 초소형위성 산업 활성화 및 글로벌 위성시장 선도
----	-------------------------------

목표	탄소중립 2050 실현 정책과 뉴스페이스 시대에 동시에 부합하는 온실가스 감시 초소형기상위성 개발
----	--

추진 단계	1단계(4년)	2단계(3년)	3단계(3년)	민간 양산체계 전환
	관 주도 체계 인증모델 개발	관 주도 체계 비행모델 개발	민간 기술이전 편대 운영/비행모델 개발	민간 주도형 위성 양산, 정부 구매

성과 목표	탐재체, 위성체, 지상국, 활용기술 국산화	성능개선/안정화 및 민간 주도형 양산 체계 구축
-------	-------------------------	----------------------------

중점분야 및 핵심기술	중점분야	핵심기술	
	체계종합	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임무 설계 ○ 시스템 인증모델 열진공 및 진동 우주환경시험 ○ 인증모델 체계 일정/인력/예산/품질/위험 관리 ○ 발사체 선정, 발사 및 운용 	
	탐재체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초분광 탐측기 광학 및 광기계부 설계 및 해석 ○ 초분광 탐측기 광학 및 광기계부 제작 및 측정 ○ 초분광 탐측기 광학계 조립/정렬 및 성능 시험 ○ 검출기 구동 및 처리 전자부 개발 ○ 산출 알고리즘 개발 	
	위성체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성 본체 인증모델 개발 및 시험 ○ 원격측정 명령계 ○ 비행소프트웨어 개발 ○ 전력계 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열구조계 ○ 자세제어계 ○ 통신계 ○ 추진계(필요시)
	지상체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지상국 운용 ○ 비행임무 소프트웨어 ○ 자료처리 소프트웨어 ○ 지상 안테나 시스템 	

2. 추진전략

○ 시장 및 기술 변화 등을 고려하여 단계별로 추진하고, 민간 참여 적극 활용

추진전략	세부기술
단계별 추진 및 세부 내용*	○ 단계별 개발을 통한 성능개선/안정화 추구 및 민간 주도형 양산 체계 구축 · 초분광 근적외 분광기 (weak-CO ₂ , strong-CO ₂ , O ₂ -A) · (1단계_인증모델) 소형위성급 < 80kg, 산출오차 < 3ppm, · (2단계_비행모델) 위성체 경량화, 산출오차 개선 < 1ppm · (3단계_편대운영) 초소형위성 성능개선, 산출오차 최적화 < 1ppm ※ 산·학·연 온실가스관측 초소형위성 개발 전문가 그룹 구성 및 운영
	1단계 QM** (4년) [관 주도 체계 인증모델 개발] · 산출오차 < 3ppm (밝은 흡수선 검증관측) · 소형위성급 (<80kg) 개발/발사 성능검증 · 탑재체 센서 검증을 위한 인프라(검보정 시설환경 구축 및 운영) · 산출 알고리즘 개발(분광 복사위치검보정, 에어로졸구름 영향제거 등)
	2단계 FM*** (3년) [관 주도 체계 비행모델 개발] · 산출오차 개선 < 1ppm · 위성체 경량화 마이크로 초소형위성급 개발/발사 성능검증 · 산출 알고리즘 개선(오차유발 불확실성 핵심 요소별 기능개선)
	3단계 FM (3년) [민간 기술이전 편대 운영/비행모델 개발] · 산출오차 최적화 < 1ppm · 마이크로 초소형위성급 성능개선 및 발사 · 산출 알고리즘 최적화 · 편대 운영/비행 알고리즘 개발 및 개선
	민간 양산체계 전환 [민간 주도형 위성 양산체계 전환, 정부 구매] · 산출오차 < 1ppm · 마이크로 초소형위성급 발사 · 산출 알고리즘 적용 · 편대 운영/비행 알고리즘 적용
핵심기술 국산화	○ 탑재체, 위성체, 지상국, 활용기술 국산화 개발 추진 - 탑재체: 온실가스(CO ₂) 관측용 초분광 근적외 탐측기 - 위성체: 최초 소형위성급에서 단계별 위성체 경량화 개발 - 지상국: 위성 관제 및 자료 수신/처리, 전지구 자료 해외협력 - 활용기술: 한반도 최적화 온실가스 산출 알고리즘 개발 및 시공간 변동성 감시
다양한 민간 참여확산	○ 개발 초기 현재 TRL 수준이 상대적으로 높은 분야 민간 업체 적극 참여 ○ 향후 기술개발 완료 시 민간 주도형 초소형 위성 양산, 정부 구매
기존 연구 연계 활용	○ 소형위성 관련 기존 선행연구 결과를 본 사업에 연계·활용 ○ 타부처 유사사업 결과 연계
세부 개발 방안 마련	○ 온실가스 감시를 위한 초소형 기상위성 개발 전략 정책연구 추진(2023.6. ~ 2023.12.) - 국내외 초소형위성 정책환경 및 미래전망 분석 - 온실가스 초소형 위성 개발을 위한 국내외 조사 및 사용자 요구사항 도출 - 온실가스 감시 초소형위성 개발 중기발전방향 제시 ○ 초소형 위성 탑재를 위한 초분광탐측기 분석 기획연구(2023.8.~2024.3.) - 국내외 초소형위성 탑재체 개발 및 국내외 협력가능 기관의 기술현황 분석 - 온실가스 감시를 위한 초소형위성 탑재체 국산화 개발 사전연구

* 본 정책보고서에 제시된 개발기간은 추후 변동 가능함

** QM: 인증모델 (Qualification Model)

*** FM: 비행모델 (Flight Model)

3. 소요예산 및 기대효과

□ 사업 소요예산

세부분야		1단계 인증모델 (4년)
H/W	초분광 탑재체	12,000
	시스템/ 본체	18,000
	지상국	5,000
	합계	35,000
S/W	알고리즘	6,000
총합(단위: 백만원)		41,000

* 본 보고서에서의 소요예산 산정은 차세대소형위성 2호 개발 예산을 참고하였음 (시스템/본체: 176억, 탑재체 110억), 단 본사업 추진과정에서 예산 변동 가능함

□ 기대효과

(1) 과학기술적 기대효과

- 기후위기 시대 온실가스 감축 및 기후위기 적응에 적극적인 대응 가능
 - 초소형 위성 개발을 통해 최근 중요성이 강조되고 있는 온실가스 감시를 효율적이고 체계적으로 함으로써 탄소중립 2050의 시대적 요구에 적극적인 대응 가능
- 뉴스페이스 시대에 부합하는 초소형위성 개발을 통해 민관 협력체계 구축 가능
 - 온실가스 감시용 초소형 기상위성의 국내외 민간 사용자 요구사항을 조사하여 반영함으로써 기술개발 완료 후 민간 중심의 생산체계 구축
- 국내 초소형 위성기술의 경쟁력 확보
 - 현재 위성 시스템 개발기술을 확보하였으나, 탑재체, 핵심부품, 소재 국산화는 아직 미흡한 수준으로 해당 기술에 대한 개발을 통해 관련 분야 국가경쟁력 제고 가능
 - 초소형 위성 감시체계 구축을 통해 산출되는 데이터의 공유, 활용을 통해 여타 관련 산업의 활성화를 촉진할 수 있는 기술적 기반 마련

(2) 사회경제적 기대효과

- 온실가스, 재난재해 등 이슈 해결을 통한 사회적 비용 감소, 공공 및 민간의 의사 결정 지원을 위한 기술 및 정책적 토대 제공
- 뉴스페이스로의 패러다임 전환기에 관련 기술 활용으로 새로운 비즈니스 모델 및 일자리 창출 효과 기대
 - 탑재체, 핵심부품, 소재 등 국산화를 통해 국내 기업의 신규 비즈니스모델 창출이 가능하며 양질의 신규 일자리 창출 가능

V. 결론

1. 종합: 기상청 주도의 초소형위성 개발 타당성

□ 관련 법 및 국가상위계획에 이산화탄소 감시 주관부처를 기상청으로 명시

- 탄소중립기본법 및 동법 시행령에서 기후감시, 기후변화 조사, 대기 중의 온실가스 농도 변화 상시 측정·조사 등을 기상청의 고유 업무영역으로 규정하고 있음
- 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률 제정(안)을 통해 기상청이 탄소중립 기본법에 따른 기후위기에 대한 감시 및 예측 총괄·지원 기관으로서 탄소중립을 지원하기 위한 체계적인 근거를 마련
- 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)의 “기후위기 감시 체계 및 예측기술 강화”에서 지상에서 위성까지 입체적 감시역량 강화를 위한 세부 계획을 제시함
 - 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발에서 기상청을 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축 주관기관으로 지정

□ 온실가스 감시의 경험·노하우 및 임무의 연속성 보유

- 기상청은 1987년부터 기후변화의 요인이 되는 물질들의 농도 변화를 파악하기 위한 배경 대기관측을 수행하고 있음
 - 1992년부터 세계기상기구(WMO)의 지구대기감시(GAW: Global Atmosphere Watch) 사업에 본격적으로 참여하여 배경대기, 온실가스, 오존 관측을 수행하고 있음
- 또한 기상청은 2012년부터 위성을 이용한 온실가스 산출기술 개발 사업 등을 수행하여 온실가스 관측 위성데이터의 실질적 활용방안을 제시해 오고 있음
- 기상청(국립기상과학원)에서는 온실가스 감시를 위한 TCCON 사이트를 활용하여 한반도 저층 대기의 CO₂ 총량 산출을 수행 중임
 - 안면도 TCCON 관측소는 2014년 8월 운영을 시작하여 약 10년 동안 운영 중이며, 원격 관측, 자료 처리, 자료 검증, 자료 제공과 근적외(NIR) 영역의 태양복사에너지 흡수선을 통한 온실기체의 전량 농도를 생산하고 있음

□ 기상청의 체계적/종합적인 기후변화 감시를 초소형위성의 역할 필요

- 기상청의 중요한 미션으로서의 ‘2050 탄소중립 이행을 위한 과학적 근거 마련 및 기후위기에 대한 예측’에 있어 정확도 향상이 요구됨
 - 이를 위해서는 기존 감시 시스템과 더불어 정지·저궤도·초소형위성의 상호 보완적 활용으로 체계적/종합적인 기후변화 감시 플랫폼을 구축할 필요가 있음
 - 국립기상과학원의 온실가스 지상관측시스템은 추후 위성데이터의 검증 및 상호보완의 목적으로 중요성을 가짐

2. 정책제언

□ 개발 초기 단계의 경우 민간 보다는 공공영역을 중심으로 개발하는 것이 바람직

- 위성개발은 높은 신뢰도가 요구되는 하드웨어의 설계, 해석, 제작, 조립, 시험, 발사, 운영 등이 필요한 사업이며, 개발과정에서 막대한 기술, 예산, 인력 등 투입이 필요한 사업으로 국내 환경이 조성되기 전까지는 공공의 연구개발 과제로 수행할 필요가 있음
- CO₂ 모니터링 등을 위한 초소형위성의 경우 활용분야가 특정 분야로 한정되므로 관련법(기상법 등)에 의거하여 온실가스 관측 및 분석업무를 수행하고 있으며, 유사기술·경험을 보유하고 있는 공공조직의 주도적 개발이 적합함
- 해외 주요국들의 경우에도 공공중심으로 기술을 개발하여 민간에 개방하는 방식 채택

□ 타부처, 지자체와 협력 필요

- 각 부처는 각자의 업무역할에 따른 온실가스 관측을 계획하고 있으며, 지자체는 우주기술을 융합한 신산업 창출을 위해 초소형위성 개발을 도전적으로 추진하고 있음
 - 최근 환경부는 메탄(CH₄) 감시를 위한 초소형위성 개발사업을 기획 중. 본 개발이 완료될 경우 환경부는 메탄, 기상청은 이산화탄소에 집중한 국가차원의 온실가스 관측 시스템의 구축이 가능함
 - 각 부처간 영역에 따른 선택과 집중(환경부는 배출원 관리, 기상청은 전지구적 기후변화 감시 역할)을 통해 온실가스 감시의 상호협력을 통한 기후변화 대응 및 국가 경쟁력 강화에 기여 가능
 - 부산광역시의 BusanSat과 대전광역시의 DaejeonSat과 같은 지자체에서도 공공 목적의 초소형위성 개발 기획을 추진 중임
 - 유관부처, 지자체간 협력을 통해 초소형위성 개발의 효과 극대화 및 상호 연계 가능

□ 공공과 민간의 차별화된 위성개발 전략 운영 및 상호 연계·협력 추진

- 온실가스 종류별(CO₂, CH₄ 등) 관측 정밀도, 난이도, 정확도, 개발수준을 고려한 개발전략과 상호 연계 등 협력방안을 도출
 - 이산화탄소의 경우 높은 수준의 근적외 영역의 정확도/정밀도를 요구하므로 공공 주도로 연구개발 및 기술을 확보하고, 단계적으로 민간에 기술이양하는 방안이 적절함
 - 메탄의 경우 이산화탄소 대비 상대적으로 개발 난이도가 낮으므로, 공공(또는 민간 공동개발) 전략으로 추진하고, 데이터 공동 활용 및 기술 피드백 등의 고려가 필요함
- 기상청 주도로 시제품 개발 체계사업 후 단계적 기술이전 및 민간의 양산체계 구현
 - 관 주도(기상청) 초소형위성 개발사업을 추진 시 단계적 체계사업을 통해 시제품의 발사 및 운영을 통해 검증한 후, 민간기업으로 기술이전하는 방안으로 추진

I. 서론

1. 연구의 배경·필요성 및 목적
2. 연구의 내용 및 범위

I. 서론

1. 연구의 배경·필요성 및 목적

□ 연구의 배경 및 필요성

- 기후위기 시대 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 지원하고 탄소중립 사회로의 이행을 위한 온실가스 감시 초소형위성의 필요성이 부각되고 있음
 - 탄소중립 2050의 시대적 요구와 뉴스페이스 시대에 부합하는 온실가스 감시 초소형 위성 개발 동향 파악, 개발전략 수립 및 활용방안 확보가 필요한 시점
 - 온실가스 감시용 초소형 기상위성의 국내외 사용자 요구사항을 조사하여 기술적 접근 방안의 마련이 시급함
- 온실가스 지상관측망의 보완 및 과학적 데이터 확보를 위한 기상청의 온실가스 초소형 위성 개발전략 수립 및 활용방안에 관한 미래 정책연구의 추진이 필요함

□ 연구목적

- 본 연구는 온실가스 감시용 초소형기상위성의 개발 타당성 및 국내 개발 가능성을 분석하고, 나아가 개발 전략 수립과 중장기 로드맵을 제시하는 것을 목적으로 함
 - 탄소중립 2050 실현·뉴스페이스 시대에 부합하는 기상청의 온실가스 감시 초소형 기상 위성 개발의 정책환경 분석, 개발 가능성 검토 및 당위성 마련
 - 온실가스 감시 초소형 기상위성과 지상관측망을 이용한 과학적 관측 데이터 분석, 검증, 제공 등 연계활용의 시너지 증대 방안 모색
 - 초소형 위성 관련 국내외 정책 및 개발 동향 분석을 통한 국내 개발방안의 시사점 및 기상청의 미래 개발전략 도출
 - 국내외 사용자 요구사항 및 세부기술 분석을 통해 온실가스 감시용 초소형 기상 위성 개발의 기술적 접근방안, 중장기 계획 및 비전 제시

2. 연구의 내용 및 범위

- 국내외 초소형위성의 정책 동향과 미션 수요를 조사하고, 온실가스 감시용 초소형 위성 개발을 위한 과학 요구사항을 최우선으로 분석
 - 국내 위성데이터 분석·처리·알고리즘 전문가(대기과학 분야)를 자문위원으로 위촉하여 온실가스 초소형위성의 개발방안, 방법, 목적 등의 자문 및 적절성 검토 추진
 - 사용자 요구사항으로부터 초소형위성의 크기 등 기본 규격, 광학 사양 및 제한 조건 등을 도출, 과학 요구사항에서 탑재체의 개념설계를 위한 기본 사양 범위 제시
 - 제시된 사양 달성을 위한 국내 산학연의 인프라 및 기술수준 조사 및 분석을 수행하며, 향후 국산화 개발을 위한 사전준비 및 비전 제시
- 세부 기술요소의 국산화 달성비율을 분석하여, 현재 국산화가 어려운 기술요소들을 중장기적으로 기술개발 필요 부분으로 제시
 - 온실가스 감시 초소형 위성 개발의 비전과 목표 도출 및 중장기 로드맵 제시

표 1-1 [본 연구의 주요내용]

<p>1. 국내외 초소형위성 정책환경 및 미래전망 분석</p>
<p>□ 국내외 초소형위성 개발 사례 및 향후 계획되고 있는 임무 조사, 이와 관련된 정책환경 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 초소형위성의 임무 성격과 산학연의 수요 동향 조사, 각 연관된 부처의 정책동향 및 관련 법률 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 우주개발 2.0시대와 관련된 정부 부처의 정책동향 조사 ○ 국내 지구 관측 위성 미션 중 초소형위성이 차지하고 있는 비중 조사 및 향후 정책동향 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 과거, 현재, 미래 지구 원격탐사에 이용될 초소형위성 미션 조사 - 국내 초소형위성 미션의 수요 통계 조사 - 기상청에서 현재 계획 중인 임무 및 정책동향 분석 ○ 기상청에서 기획 중인 정지궤도위성, 초소형위성 미션 임무 및 정책 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 초소형위성 개발의 임무들의 장점 및 한계점 분석, 기상청의 임무 및 정책들과 초소형위성 개발과 부합되는 지점 도출
<p>2. 온실가스 초소형위성의 개발을 위한 국내외 조사 및 사용자 요구사항 도출</p>
<p>□ 온실가스 감시용 초소형위성 개발을 위한 국내외 사용자 요구사항 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 초소형 기상위성 개발 사례들의 기술 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 온실가스 감시를 위한 지상관측 시스템과 위성시스템의 기술 개발 현황 조사 - 기술준비수준(TRL)과 개발관련 국내외 산업체 동향 분석, 개발 가능성 조사 ○ 온실가스 감시용 초소형 기상위성과 현재 운영 중인 안면도 TCCON 및 이동형 COCCON 등 지상관측 시스템과 보완·상호검증 방안을 조사하여 실질적 활용 방안 도출 ○ 온실가스 감시 초소형위성의 사용자 요구사항(위성체, 탑재체의 규격, 성능, 산출물) 조사. <p>□ 온실가스 초소형 기상위성 요구사항 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 사용자 요구사항으로부터 온실가스 감시용 초소형위성 광학탑재체의 기본사양 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 탑재체의 기본사양이 결정되면 초소형 위성체의 크기 등 기본 규격 도출 가능 - 탑재체의 광학 사양 및 제한조건 도출 가능* - 국내 초소형위성 임무를 수행한 경험이 있거나 유사 경험 및 개발 의지가 있는 산업체를 리스트업하여 기술준비수준(TRL) 조사 - 현 수준에서 국산화가 힘든 우주핵심 부품 등 관련 해외업체 조사 ○ 정지궤도위성과의 광학 사양을 비교하여 연계활용 가능성 모색
<p>3. 온실가스 감시 초소형위성 개발 중기발전방향 제시</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실가스 감시 초소형위성 개발 중기발전방향 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 온실가스 감시 초소형위성 개발의 비전과 목표 도출 - 중점 추진과제의 발굴 및 상세 로드맵, 추진전략 도출 - 기상청의 초소형위성 개발 상세 추진방안 및 기대효과 제시

II. 주요 현황 분석

1. 초소형위성 관련 정책동향 분석
2. 국내외 초소형위성 산업 동향 분석
3. 초소형위성 기술개발 동향 분석 및 미래전망
4. 정책환경 분석을 통한 초소형기상위성 기술개발 필요성
5. 기상청의 개발 주도 타당성과 연계 협력 방안
6. 종합 및 시사점

II. 주요 현황 분석

1. 초소형위성 관련 정책동향 분석

1.1. 국내 초소형위성 정책 동향 분석

1.1.1. 국정과제

- 현 정부의 국정과제 내용을 분석 및 핵심적으로 추진하려는 정책 동향을 파악
 - 우주·항공·위성과 관련성이 있는 국정과제는 ‘79.우주강국 도약 및 대한민국 우주시대 개막’ 이 해당

표 2-1 [국정과제 79.우주강국 도약 및 대한민국 우주시대 개막 주요 내용]

구분	세부내용
과제목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미래 우주분야 핵심 경쟁력 확보, 민간 중심 우주산업 활성화를 통해 사회 및 경제발전을 견인하는 우주개발 추진 ○ 우주개발 인프라 고도화 및 정책적·제도적 뒷받침을 통해 7대 우주강국 도약
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ (거버넌스 강화) 우주선진국 도약을 위해 R&D, 국가안보, 산업화, 국제협력등 다양한 분야의 전문성·리더십을 갖춘 선도형 거버넌스로 개편 <ul style="list-style-type: none"> - 다부처 정책 조정, 민간의 전문성을 활용하기 위한 조직·기능 설계 <ul style="list-style-type: none"> ※ 우주산업 활성화를 위한 우주항공청 신설 추진(경남 사천) ○ (우주산업 활성화) 공공부문 기술의 민간이전 촉진, 기업 참여 확대를 위한 제도개선 등을 통해 New Space 시대에 민간의 우주개발 역량 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 우주산업 집적단지를 중심으로 우주산업클러스터* 지정·육성 추진 <ul style="list-style-type: none"> * 우주개발 인프라 구축, R&D/인력 지원 등 다양한 지원 강구 ○ (독자 기술역량) 차세대 발사체 개발 등 독자 발사체 확보, 한국형 위성 항법시스템(KPS) 개발 등 우주개발 핵심분야 기술역량 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 우주개발 선진국들과 공동협력을 통해 국내외 우주 개척 활동에도 주도적 참여* <ul style="list-style-type: none"> * 달 궤도선 발사, 달 착륙선 개발, 아르테미스 계획 참여 등
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ ‘누리호’ 3차 발사(‘22.6.) 성공과 ‘한국형 달탐사 궤도선 누리호’ 발사(‘22.8.), 적극적 국제협력으로 대한민국의 우주개발 영역 확대 ○ 발사체, 위성, 우주탐사, 위성항법도 모두 추진할 역량*을 갖춘 세계 7대 우주강국으로 도약 <ul style="list-style-type: none"> * 현재 동 역량을 모두 갖춘 국가는 미국, 러시아, 유럽, 중국, 일본, 인도 등 6개국

출처: 대한민국정부(2022), 윤석열정부 120대 국정과제

표 2-2 [국정과제 주요내용 별 세부 추진현황]

구분	추진현황
<p style="text-align: center;">거버넌스 강화</p>	<p>2022년</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대통령 주재 우주경제 비전 선포식 추진(7.7.) - 거버넌스 개편과 함께, 우주경제 시대를 열기 위한 정책비전 제시 ○ 대통령 취임 100일 기자회견에서 우주항공청 설립방향 제시(8.17.) - 美 NASA를 모델로 한 전문성 있는 조직으로 우주항공청을 설립 ○ 제4차 우주개발진흥기본계획 수립을 위한 산학연 릴레이 간담회 및 설문조사 추진 - 위성(8.9.), 발사체(8.17.), 스타트업(8.30.), 투자자(9.14.) 간담회 진행 - 한국연구재단, 우주기술진흥협회를 통해 300개 이상 기관 대상 진행(9월) ○ 선도형 우주항공 거버넌스 구축을 위한 우주항공청 설립추진단 출범(11.28.) ○ 우주경제시대 실천계획을 포함한 제4차 우주개발진흥 기본계획 수립(12.21.)
	<p>2023년</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 우주항공청 설립을 위한 전문가 간담회(2.22., 2.24., 2.28., 3.2.) ○ 우주항공청 설립 특별법 제정안 입법예고(3.2.) ○ 2023년도 우주개발진흥 시행계획 수립(3.31.) ○ 민간우주개발 촉진을 위한 발사허가 표준절차 마련(3.31.) ○ 제1회 민군 우주협력 협의체 회의 개최(4.7.) ○ 발사계획서 작성방법 고시 개정(5.12.), 우주법 체계 개선방안 정책연구 착수(6.1.)
<p style="text-align: center;">우주산업 활성화</p>	<p>2022년</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 미래우주교육센터 선정(4월) - 산학연 컨소시엄 기반 미래 우주분야 신기술을 선도할 수 있는 전문인력 양성을 위한 5개 대학 선정 ○ 우주산업 성장 지원을 위한 다양한 지원방향을 반영한 우주개발진흥법 개정(6.10.) ○ 우주산업 클러스터 조성 계획 수립(7.7.) 및 추진계획 수정(10.7.) ○ 민간주도 우주산업 본격 육성을 위한 우주산업 클러스터 지정(안) 수립(12.21.) - 우주산업 클러스터 삼각체제 구축을 위해 전남(발사체), 경남(위성), 대전(연구·인재개발) 3개 특화지구 지정
	<p>2023년</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기술검증 플랫폼위성 전문가 검토회의(1.11.) - 우선순위 종합 검토, 호기별 탑재(안) 검토 등 ○ 우주부품·기술 국산화 로드맵 TF 구성 및 1차 회의(3.27.) ○ 우주부품·기술 국산화 로드맵 1차 분과위원회 개최(5.16.) - 우주기술로드맵 2.0 성과 분석 및 우주기술로드맵 3.0 수립 방향 논의

독자 기술역량	2022년	<ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대발사체 개발사업 예비타당성 조사 착수 ○ 국내 최초 독자개발 발사체 '누리호' 2차 발사 성공(6.21.) ○ 한국형 위성항법시스템 개발사업 착수(6.30.) <ul style="list-style-type: none"> - 탑재체 1호기 발사 성공(6.23., 남미 기아나) ○ 우리나라 최초 달탐사 궤도선 '다누리' 발사(8.5.) ○ 한국형발사체 체계종합기업 우선협상대상자 선정(10.7.) ○ 한국형발사체 고도화사업 체계종합기업 선정(11월) ○ '다누리' 달 임무궤도 진입 성공(12.27.)
	2023년	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제13회 Multi GNSS Asia 연례회의 참석(1월) ○ 소형발사체 개발역량지원 2차년도 종합착수회의(1.31.) ○ 민헨 위성항법회의 2023 참석(3월) ○ 과기정통부-NASA 우주탐사·과학 협력 강화에 대한 공동성명서 서명(4.25.) ○ 달 궤도선 사업 최종평가(5.18.) ○ 한국형발사체 '누리호' 3차 발사 성공(5.25.) <ul style="list-style-type: none"> - 차세대소형위성 2호 발사 - 초소형위성 7기 발사 ○ UN COPUOS 본회의 참석(5.31.~6.10.) <ul style="list-style-type: none"> - 우주분야 주요 논의에 우리 입장 반영, 회의 연계 주요국 양자 실무회의 등 추진

출처: 정부업무평가 국정과제 추진현황(www.evaluation.go.kr/web/index.do)

1.1.2. 중앙 정부 정책(1): 제4차 우주개발진흥기본계획(2022년 12월)

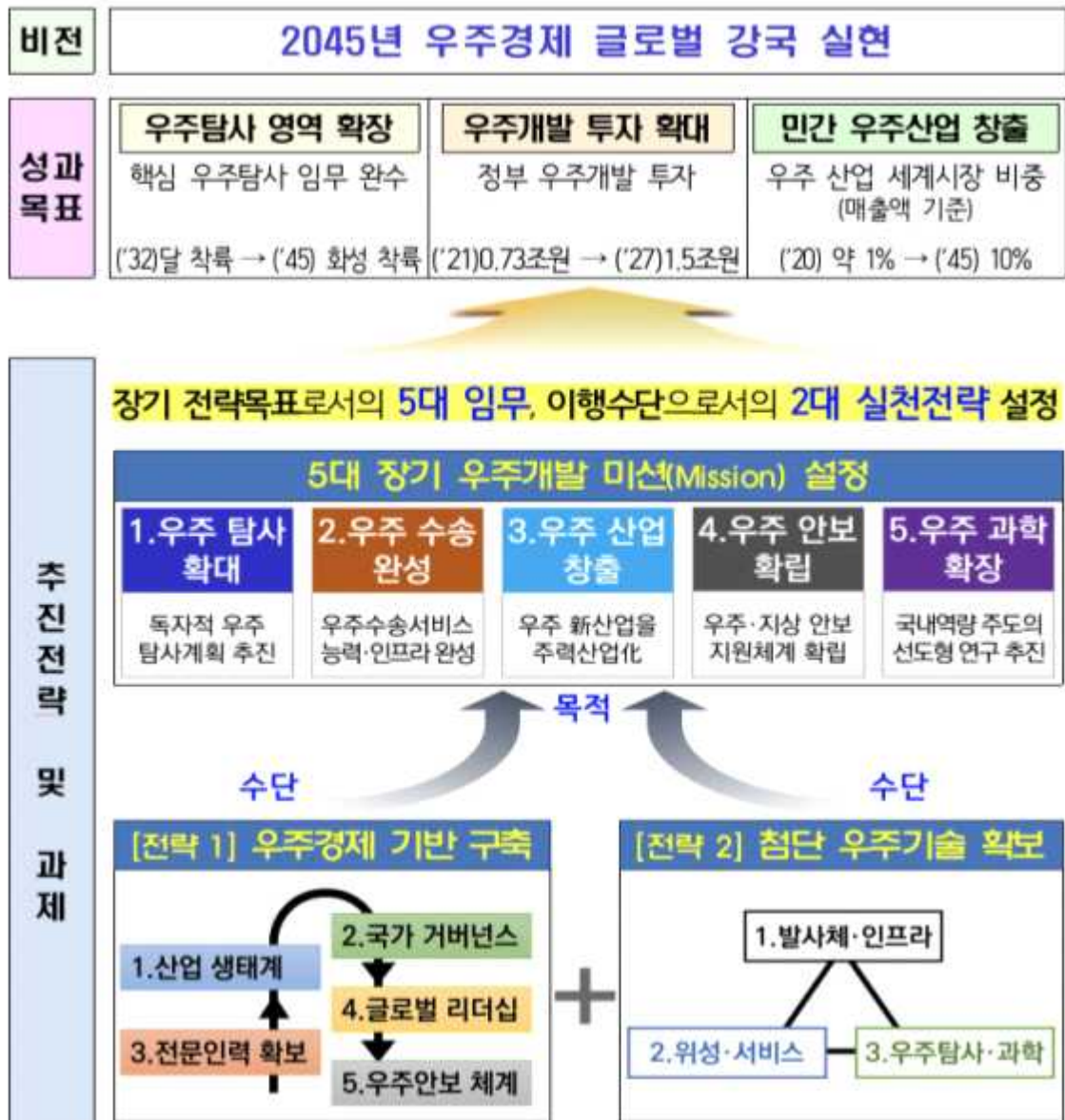
□ 개요

- 5년 주기로 국가 우주개발의 중장기 정책목표와 방향을 설정하고, 우주개발 추진 전략과 계획을 제시
 - 1차(2007년~2016년) → 2차(2012년~2016년) → 2차 계획 수정(우주개발중장기계획, 2014년~2040년) → 3차(2018년~2022년), 제3차 계획 수정(2018년~2022년)
- 각 부처 우주개발사업의 방향을 설정하고 추진근거가 되는 최상위 계획
- 최근의 환경변화를 반영하여 기존의 연구개발 중심 계획에서 우주안보, 우주산업, 우주외교 등을 포괄하는 종합적 정책으로 수립
 - 장기 우주개발 목표 달성을 위한 기술의 확보, 산업생태계 구축, 전문인력의 양성, 국제협력 등 분야의 혁신생태계 전반을 포괄

□ 비전 및 추진전략

- 2045년 우주경제 글로벌 강국 실현을 비전으로 1.우주탐사 영역 확장, 2.우주개발 투자 확대, 3.민간 우주산업 창출의 성과목표 제시
 - 장기 전략목표로서의 5대 임무, 이행수단으로서의 2대 실천전략 설정

그림 2-1 [제4차 우주개발진흥기본계획의 비전 성과목표 및 추진전략]



출처: 관계부처 합동(2022), 제4차 우주개발진흥기본계획(안)

□ 세부 추진계획

- 5대 우주개발 임무별 세부 추진계획 설정
 - 우주탐사 확대: 독자적인 우주탐사 계획 추진을 통해서 우주경제영토를 확장
 - 우주수송 완성: 우주수송 능력과 거점의 완성을 통해서 아시아 우주수송 허브 구축 추진
 - 우주산업 창출: 세계 수준의 산업생태계 구축으로 우주산업의 주력산업화를 추진

- 우주안보 확립: 선도국과 대등한 국제공조가 가능한 우주안보 역량을 확보해서 국가와 국민의 안전을 확보
- 우주과학 확장: 인류 지식확장에 기여할 수 있는 선도형 우주과학 연구의 확대를 추진

표 2-3 [제4차 우주개발진흥기본계획의 5대 우주개발 임무 별 세부 추진계획

구분		추진계획
우주탐사 확대	개요	○ 인류 우주활동영역 확대에 따른 국제질서 재편에 대응하여 심우주 유·무인 활동을 주도적으로 추진할 핵심 역량 확보
	핵심목표	○ '32년까지 달 착륙 → '45년까지 화성 착륙 - 달 탐사: 2032년 무인 착륙 및 표면 임무 → 2040년대 달 기지 확보 - 화성 탐사: 2035년 궤도 탐사 → 2045년 착륙 및 표면 임무 수행
	추진전략	○ 달·화성 탐사의 독자적 역량 확보와 동시에 국제협력을 통한 유인·정거장·탐사기지 등의 전략적 추진 - 발사체, 무인 궤도선, 착륙선, 운송선의 독자적 능력 확보 - 궤도정거장, 달·화성 표면 기지 등의 분야에서는 국제협력 강화 - 현지자원활용(ISRU) 기초 기술을 확보하고 지상의 산업 역량 적극 활용 - 유인 우주 관련 선행 기술 개발 및 국제협력을 통한 유인탐사 참여
우주수송 완성	개요	○ 우주경제 시대에 지상-우주 간 물자와 인력의 지속적인 이동·수송을 수행하기 위한 발사·수송 기술 및 시설, 제조역량 확보
	핵심목표	○ '30년 무인수송 역량 완성 → '45년 유인수송 역량 완성 - (수송수단) '32년까지 '차세대 발사체' → '45년 유인수송 발사체 - (제조인프라) '30년까지 클러스터 구축으로 제조산업 집적 - (발사장) '30년 공공-민간 발사장 → '40년 정지궤도/유인 발사장
	추진전략	○ 우주시스템 제조·생산 및 발사 인프라를 구축하고 이를 기반으로 글로벌 우주수송 서비스로 발전 가능한 역량 확대 - 다양한 수요 대응 발사체 및 발사장 확보 - 민간 참여 유인 및 확대를 위한 클러스터 구축 - 민간 중심의 체계를 확립하여 시장 창출 및 서비스 경쟁력 확보 - 장기적으로 우주 수송의 아시아 허브로서의 입지 확보
우주산업 창출	개요	○ 민간과 정부가 유기적으로 협력하여 세계적 수준의 민간 주도 우주산업 생태계를 구축하여 국가 주력산업으로 발돋움
	핵심목표	○ '30년 자생적 산업 생태계 구축 → '45년 10대 주력산업 진입 - 국내 시장 중심의 우주산업을 해외까지 확장
	추진전략	○ 민·관의 적극적 협력으로 초기시장을 창출하고, 강점 분야 연계 등으로 민간 주도 新산업 발굴·확대 및 세계시장 진출 - 정부와 민간이 협력하여 우주산업 초기 시장 창출 - 타 분야 산업과 연계 강화, 우주 부가가치 산업 확대 - 우주산업 제조, 서비스 분야 경쟁력 강화로 세계 시장 진출 확대 - 궤도상서비스, 우주관광, 우주정거장서비스 등 新산업 확장

우주안보 확립	개요	○ 지상의 안전한 삶 및 우주자산의 보호 등을 위한 체계를 마련하고, 관련 기술 등 역량 확보
	핵심목표	○ 2030년까지 국내 인프라 확대 → '40년 선진국 수준 역량 확보 - 재난재해: '30년 아-태지역 재난·재해 대응 서비스 제공(국제협력) → '40년 재난재해 최첨단 정밀 서비스 글로벌 확대(국제공여) - 우주안보: '30년 감시·예측 및 우주사이버안보 역량 고도화 → '40년 능동적 보호시스템 구축 및 운영
	추진전략	○ 태양풍, 우주물체 충돌·추락 등 우주위험 대비 역량을 강화하고, 국가 안보를 위한 우주시스템 등 확보·확대 - 재난재해 관측 데이터 확보 위성 확대 - 우주감시 체계(광학, 레이더, 레이저, 전자기 관측 장비) 확보
우주과학 확장	개요	○ 국제사회 위상 강화 및 미래 사회의 새로운 가치(새로운 물리 법칙, 우주탄생 비밀 등) 실현을 위한 우주과학 연구 확대
	핵심목표	○ '30년 다학제적 우주과학 연구역량 확보 → '40년 세계 선도형 우주과학임무 주도적 수행 - (과학) 난제 해결을 넘어 질문을 이끄는 과학 리더 국가로 도약 - (기술) 선제적 미래 우주탐사기술 개발로 목표 지향적 우주임무 실현
	추진전략	○ 우주탐사·과학 임무 발굴 체계 확립 및 장기적 우주과학 연구 프로그램 도입 - '우주탐사 50년 로드맵'을 통한 장기적 우주탐사 비전 수립 - 연례포럼 등을 통한 다학제 산·학·연 협력형 우주개발 추진 - 우주탐사·산업 핵심기술 조기 확보 및 미래 탐사 기술 선제 개발 - 순수과학·응용기술 기반 한계 극복형 우주과학임무 발굴

출처: 관계부처 합동(2022), 제4차 우주개발진흥기본계획(안) 참조 재구성

○ 2대 실천 전략을 위한 세부내용 제시

표 2-4 [제4차 우주개발진흥기본계획의 2대 실천 전략을 위한 세부내용]

전략	세부내용	
1.우주 개발의 가치를 실현하는 우주경제 기반구축	1.1 민간 주도의 우주산업 생태계 촉진	○ 공공 우주개발사업을 통한 초기 시장 창출 ○ 글로벌 시장 진출 지원 ○ 우주기술 자립화를 위한 정책·제도 지원 강화 ○ 공공 우주기술 이전 지원체계 구축 ○ 우주분야 스타트업 전주기 지원체계 마련 ○ 민간 우주활동 확대를 위한 규제혁신 ○ 우주산업 기반 구축 및 법제도 정비
	1.2 선도형 우주개발 거버넌스 구축	○ 정부 우주개발 투자의 전략적 고도화 ○ 정부 우주개발 추진체계 혁신 ○ 공공과 민간의 역할분담 체계화 ○ 민·군 및 산·학·연·관 협력 및 기반체계 고도화

<p style="text-align: center;">1.우주 개발의 가치를 실현하는 우주경제 기반구축</p>	<p style="text-align: center;">1.3 우주경제 시대에 필요한 전문인력 확보</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초·중·고 미래세대의 우주교육 저변 확대 ○ 우주개발 현장으로 나아가는 대학 전문 인력 양성 ○ 우주新시장을 개척하는 산업인력 지원 ○ 우주경제 시대 인력양성 제도·기반 구축
	<p style="text-align: center;">1.4 글로벌 우주개발 협력에서 역할 강화 및 국격 제고</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국제공동 탐사·공동 연구 참여 확대 ○ 적극적 양자·다자 우주 외교로 전환 ○ 민간의 국제 네트워킹 지원 ○ 우주경제 시대에 맞는 국제협력 기반 조성
	<p style="text-align: center;">1.5 우주를 통한, 우주를 위한 안보 체계 확립</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우주전파재난·사이버안보 대비체계 확립 및 주파수·궤도 안정적 확보 ○ 우주물체 충돌·추락 대응 우주 감시·관측 역량 강화 ○ 우주를 통한 국가안보 및 해양상황인식 역량 강화
<p style="text-align: center;">2.첨단 우주기술 확보</p>	<p style="text-align: center;">2.1 우주 임무의 초석(礎石) : 차세대 우주 추진 시스템 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중장기 발사체 개발 및 운영 전략 ○ 누리호 신뢰성 확보를 위한 반복 발사 및 성능 개선 ○ 우주탐사 등 대형 우주수송을 위한 차세대 발사체 개발 ○ 발사수요 증대에 대응한 효율적인 소형 발사체 개발 ○ 재사용 및 심우주탐사용 등 미래 우주수송 선행연구 지원 ○ 우주항(Spaceport)으로 나아가는 발사장 인프라 확충
	<p style="text-align: center;">2.2 우주 산업의 광맥(鑛脈) : 위성 시스템 및 서비스 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중장기 위성 개발 추진방향 ○ 국민체감 서비스 향상을 위한 저궤도 지구관측 역량 고도화 ○ 4차 산업혁명의 핵심인프라 KPS 위성 개발 ○ 차세대 통신 선도를 위한 저궤도 위성통신 시스템 개발 ○ 정지궤도 위성 기반 국민생활 서비스 강화 ○ 우주부품·소자 등 검증용 플랫폼 확보 및 핵심기술 개발 ○ 우주 고급인력 양성을 위한 큐브(~10kg)·초소형위성(10~30kg) 개발 ○ 위성정보 활용 서비스 발굴 지원 및 공공서비스 고도화

2.첨단 우주기술 확보	2.3 우주 개척의 항로(航路) : 우주탐사 역량 강화 및 우주과학 연구 확대	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대한민국 우주탐사 장기 전략 수립 ○ 달 탐사의 본격 시작 ○ 화성 탐사의 준비 ○ 체계적 소행성 탐사 준비 ○ 유인탐사 기술 확보를 위한 선행연구 착수 ○ 우주를 탐구하는 우주과학 연구의 확대 ○ 우주를 통한 과학기술 혁신의 촉진
-------------------------	--	---

출처: 관계부처 합동(2022), 제4차 우주개발진흥기본계획(안) 참조 재구성

1.1.3. 중앙 정부 정책(2): 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)(2023년 3월)

□ 개요

- 기후위기 대응 및 지속가능발전을 위한 국가 최상위 계획으로서 화석연료 의존적 사회구조를 탈피할 탄소중립·녹색성장 정책의 철학과 비전 제시
- 온실가스 감축과 지구 온난화 적응, 환경과 경제의 선순환을 위한 정책방향 설정 및 에너지 등 유관계획과 정합성 확보
- 중장기 국가 온실가스 감축 목표달성을 위한 산업·수송 등 부문별 감축목표와 각 부문의 연도별 감축목표 설정 및 이행 대책 수립
- 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발의 주관부처로 기상청을 명시

표 2-5 [국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)의 세부 과제 중 위성관련 부문]

관리번호	과제명	주관부처(협조부처)
2-1-1	○ 기후위기 감시 체계 및 예측기술 강화	기상청, (해수부, 환경부)
	1. 지상에서 위성까지 입체적 감시역량 강화 - 입체감시 기반 관측자료와 고해상도 기상모델을 결합한 세계기상기구 통합 전지구 온실가스 과학정보시스템 구축사업 추진 - 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합 위성 개발 ※ 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축(기상청), 메탄(환경부) 및 해양·극지 재난(해수부)	
	2. 신규 기후변화 시나리오 정보 생산·제공 - 기후변화 시나리오 제공변수 확대 및 한반도 인근 해역까지 고해상도 시나리오 확장	

출처: 관계부처 합동(2023), 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안) 참조 재구성

□ 비전 및 추진전략

○ 2050탄소중립 목표달성을 위한 3대 정책방향, 4대 전략 및 12대 세부과제 제시

그림 2-2 [국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)의 비전 및 전략]



출처: 관계부처 합동(2023), 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)

1.1.4. 유관부처별 관련 정책(1): 초소형위성 개발 이행안(로드맵) (과기정통부, 2021년 6월)

□ 개요

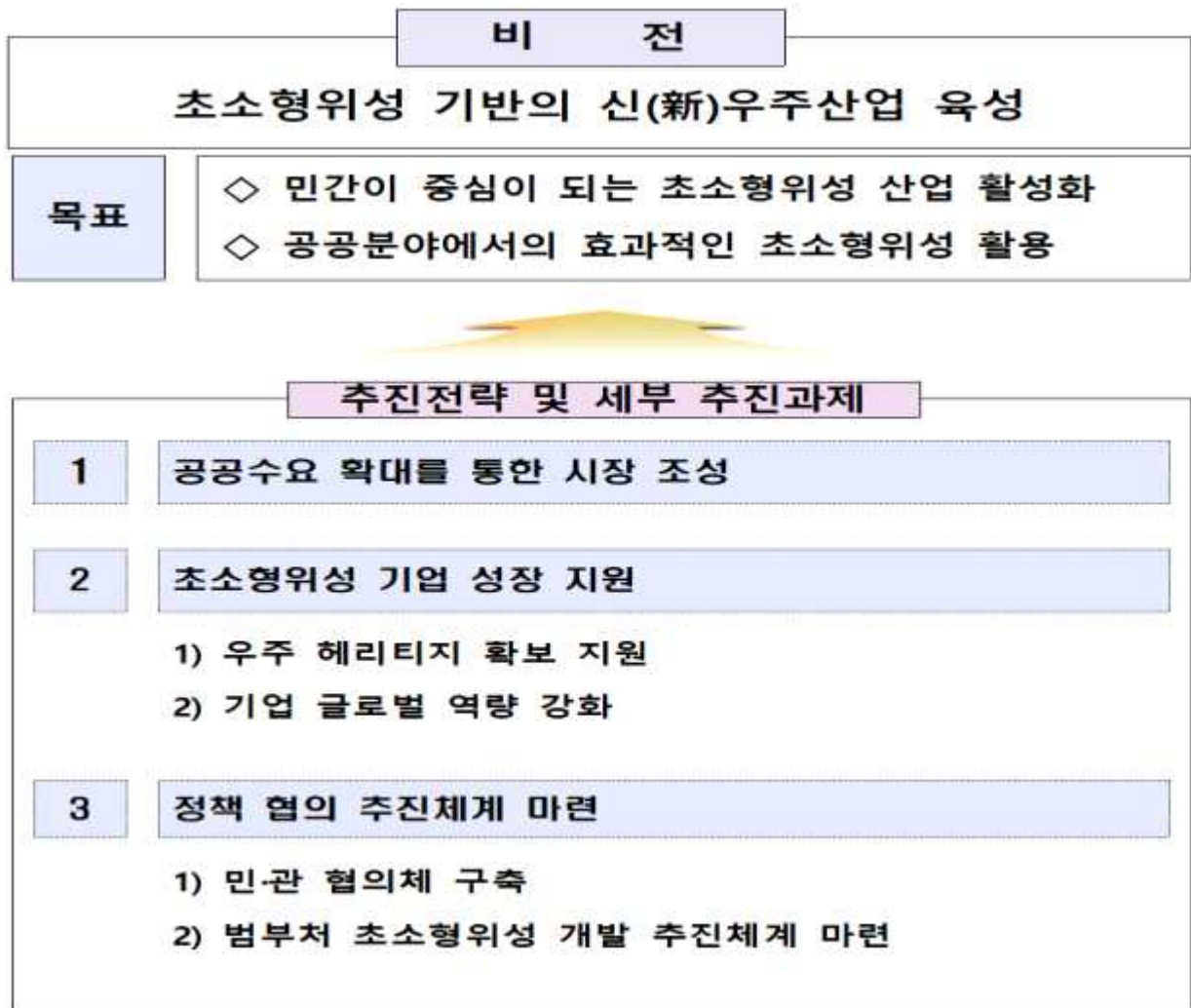
- 뉴 스페이스(New Space) 시대, 단기간·저비용 개발이 가능한 초소형위성을 기반으로 우주산업이 급격히 성장 중
 - 초소형위성은 여러 대를 군집으로 운용하여, 동일 지점에 대해 더 자주, 또는 동일 시간에 더 넓게 관측할 수 있다는 장점이 있음
 - 중·대형 위성의 임무를 효과적으로 보완하고, 비용 문제로 시도하기 어려웠던 새로운 임무도 수행할 수 있을 것으로 기대

- 다양한 초소형위성 프로그램들을 운영하는 우주 선진국과 달리, 우리는 인력양성 분야를 제외하면 초소형위성 관련 정책이 부재
 - 공공분야에서 초소형위성에 대한 활용 수요가 증가하고 있으나, 개발체계가 명확하지 않아 유사·중복 개발 및 투자가 우려됨
 - 초소형위성 자체의 개발 비용은 저렴하더라도, 이를 위한 발사인프라·지상국 등 인프라는 위성 수에 비례하여 준비가 필요

□ **비전 및 추진전략**

- 초소형위성 기반의 신(新)우주산업 육성을 비전으로 1. 민간이 중심이 되는 초소형위성 산업 활성화, 2. 공공분야에서의 효과적인 초소형위성 활용의 두가지 목표 수립
- 3대 추진전략 및 세부추진과제 제시
 - 3대 추진전략으로 1. 공공수요 확대를 통한 시장 조성, 2. 초소형위성 기업 성장 지원, 3. 정책 협의 추진체계 마련을 제시함

그림 2-3 [초소형위성 개발 이행안(로드맵)의 비전·목표·추진전략 및 세부 추진과제]



출처: 과기정통부(2021), 초소형위성 개발이행안(로드맵)

○ 비전 및 목표 달성을 위한 세부 추진과제 제시

표 2-6 [초소형위성 개발 이행안(로드맵)의 세부 추진과제]

추진전략	세부추진과제	
1.공공 수요 확대를 통한 시장 조성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국가안보를 위한 (초)소형위성 감시체계 구축 ○ 6G 위성통신을 위한 초소형 통신위성 시범망 구축 ○ 우주전파환경 관측을 위한 초소형위성망 구축 ○ 미래선도기술 확보를 위한 초소형 검증위성 개발 	
2. 초소형위성 기업 성장 지원	2.1. 우주 헤리티지 확보 지원	○ 혁신적인 아이디어를 가진 중소·벤처기업이 우주 시장에 진출할 수 있도록 초소형위성 기반의 비즈니스 시범모형(모델) 개발 지원
	2.2. 기업 글로벌 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 뉴 스페이스 시대에 대응한 우주산업 전문인력 양성 추진 ○ 민간 초소형위성 경쟁력 확보를 위한 지원 사업 확대
3. 정책 협의 추진체계 마련	3.1. 민·관 협의체 구축	○ 공식적인 민관 협의체를 마련하여, 사업모델 제안·공동사업 기획 등 수요를 지속적으로 발굴하고, 현장 애로사항을 청취
	3.2. 범부처 초소형위성 개발 추진체계 마련	○ 초소형위성 공공수요를 종합·조정하여 중복 개발을 방지하고, 임무를 효과적으로 수행할 수 있도록 범부처 추진체계 정립

출처: 과기정통부(2021), 초소형위성 개발이행안(로드맵) 참조 재구성

1.1.5. 유관부처별 관련 정책(2): 우주산업 전문인력 양성 추진방안(과기정통부, 2021년 6월)

□ 개요

- 우주개발은 고도의 기술역량과 혁신적인 아이디어를 필요로 하는 분야로, 우주 분야 전문인력은 국가 우주개발 역량의 핵심적 요소
 - 우주 선진국들은 우주 전문기관을 중심으로 산·학·연 협의체를 구성하고, 다양한 프로그램을 공동으로 개발·운영하고 있음
- 우리나라는 2012년 큐브위성 경연대회를 시작으로 우주교육시스템 구축, 우주기술 전문연수 등 우주 인력양성 사업을 추진해 왔음
 - 확대되는 우주개발 규모에 비해 사업 규모가 현저히 낮고, 별도의 체계·정책 없이 주로 기술개발 사업의 일부로 진행
- 최근 뉴 스페이스 시대의 도래, 전문인력의 고령화 등 우주개발 환경이 급격히 변화하면서, 체계적인 인력양성의 필요성이 증가하고 있음

- 이에 따라 2030년 우리나라가 세계 7대 우주강국으로 도약하기 위해, 국가 우주 개발 역량의 핵심인 우주 인력양성에 대한 종합적 계획 마련을 제시함

□ 비전 및 추진전략

- 뉴 스페이스(New Space) 시대에 대응하여 우주산업 발전을 위한 전문인력 양성을 비전으로 4대 중점전략 및 10가지 세부추진과제 제시

표 2-7 [우주산업 전문인력 양성 추진방안의 중점전략 및 세부추진과제]

전략	세부내용	
1.우주산업 신규인력 공급을 위한 대상별 인력양성	1.1. [미취업자] 학사 졸업자 대상 우주기술 전문연수 및 취업 지원	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우주 산업체 현장 수요를 반영한 맞춤형 전문연수 및 채용 연계 ○ 기업 현장에서 수련하는 산업체 현장연수 추진 ○ 우주산업체 채용박람회를 개최
	1.2. [대학(원)생] 큐브위성 제작, 시설·장비 활용 등 현장·실무 교육	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성개발 전주기를 경험할 수 있는 '큐브위성 경연대회' 지속 추진 ○ 전문기관의 우주분야 시설·장비를 활용한 실습 지원
	1.3. [석·박사] 산·학·연 협력 기반, 기술 분야별 고급 전문인력 양성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전략적 인력양성이 필요한 우주기술 분야를 선정하고, 산·학·연 연합체에 기반한 '미래우주교육센터' 운영
2.우주산업 경쟁력 강화를 위한 기존인력 재교육 지원	<ul style="list-style-type: none"> ○ (종사자) 주요 분야별(발사체·위성체·위성활용) 개념·사례·실습 교육 제공 ○ (관리자) 임원급 맞춤형 교육 및 글로벌 우주동향 발표회(세미나) 제공 ○ (연구자) 우주전문기관 고경력 연구자의 중소기업 파견·자문 지원 	
3.우주분야 청소년·여성 인재 양성 및 지원	3.1. [청소년] 우주분야 관심 제고를 위한 현장·체험 프로그램 확대	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대학생 우주캠프 및 우주분야 공모전 개최를 추진하여 타 분야 학생들도 우주분야에 관심을 갖도록 유도
	3.2. [여성] 여학생 친화 프로그램 개발 및 우주 여성 네트워크 지원	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여학생 친화적인 우주 교육 콘텐츠 개발 및 관련 프로그램 지원 ○ 선배 여성 우주 종사자들의 강연 및 지도 활동 지원
4.효과적인 우주 인력양성을 위한 기반마련	4.1. [협의체] 인력양성 관련 기관이 참여하는 협의체 구성 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산·학·연이 모두 참여하는 '우주 인력양성 협의체' 및 국내 우주학과가 참여하는 '우주 대학 협의체' 구성
	4.2. [전담체계] 우주 인력양성 전담기관 및 전담인력 확보 추진	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우주분야 전문인력 양성 및 관리를 위한 전담기관을 지정하고, 우주인력 현황분석, 정책연구, 사업관리, 프로그램 개발 등을 수행

출처: 과기정통부(2021), 우주산업 전문인력 양성 추진방안

1.1.6. 기상청 관련 정책(1): 제4차 기상업무발전 기본계획(2022년 12월)

□ 개요

- 기상업무의 건전한 발전 등 기상법의 목적을 체계적·효율적으로 달성하기 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 5년마다 국가기상 기본계획을 수립·시행함
 - 주요내용으로 기상업무에 관한 기본목표 및 추진방향, 기상업무에 관한 기술투자의 확대, 연구개발 추진, 기상측기의 기술개발, 기상업무의 발전에 필요한 사항
 - 기상청 소관 법정계획, 분야별 중장기 계획과의 정합성과 연계성 유지를 위한 관측업무발전 기본계획, 기후업무발전 기본계획에도 미래 초소형위성 개발 사항이 포함되어 있음

□ 비전 및 추진전략

- ‘다시 도약하는 기상·기후서비스, 더욱 안전한 국민의 나라’ 를 비전으로 제시함
- 3대 발전목표로 사회·경제적 영향을 고려하는 예·특보서비스 제공, 기후위기 극복을 위한 신뢰도 높은 과학정보 제공, 세계수준을 선도하는 초격차 미래 기상기술 확보를 설정함
 - 비전 및 발전목표를 구현하기 위한 4대 전략, 11대 중점과제를 수립하였음

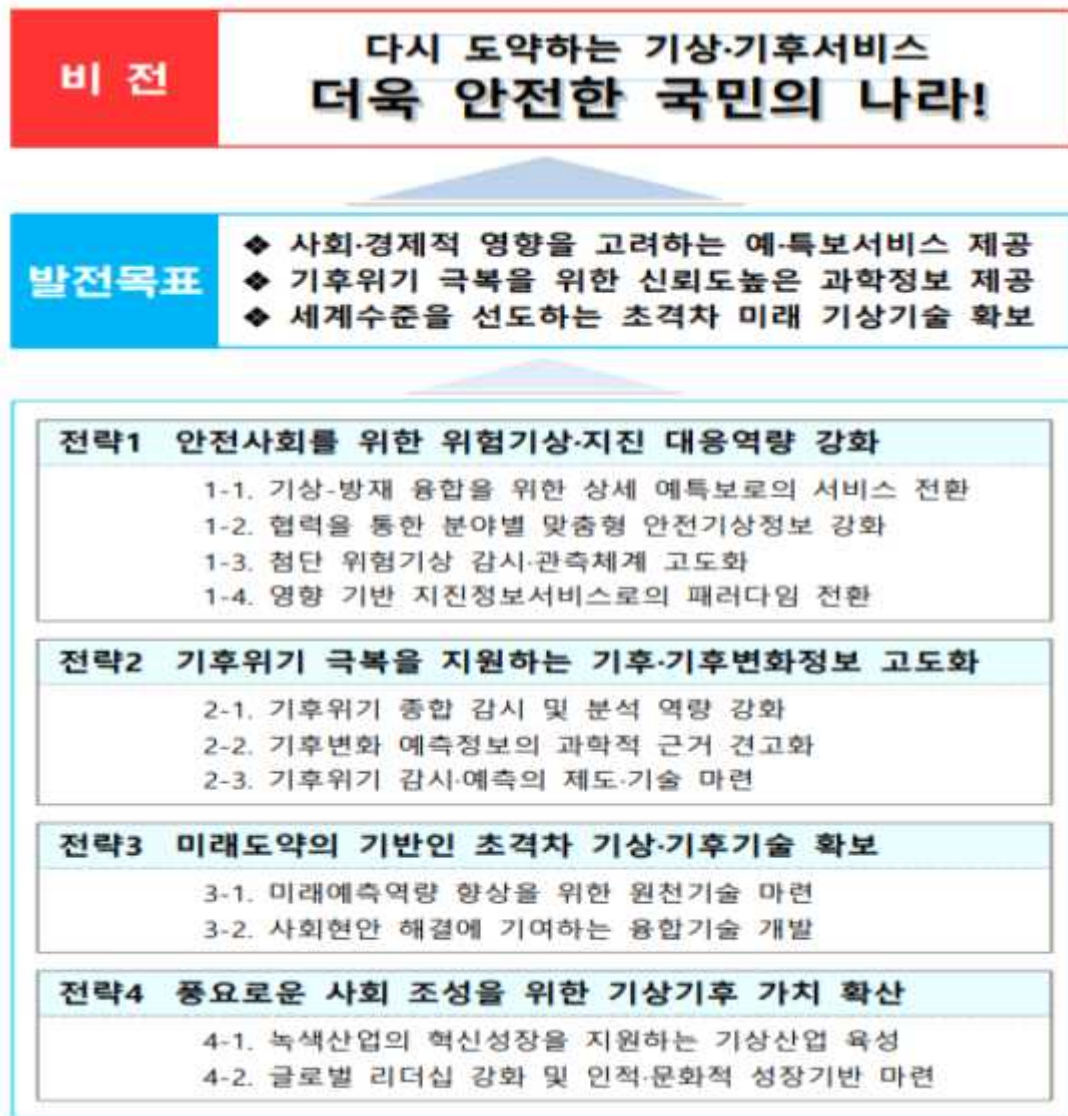
표 2-8 [제4차 기상업무발전 기본계획 세부추진과제 중 위성개발관련 주요내용]

추진전략	세부추진과제
1-3. 기상위성·레이더 등 첨단 원격관측장비 확충	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후변화 감시강화 및 위험기상 선제대응 역량 향상을 위해 대기 다층구조 탐측·분석기술이 적용된 다중 기상위성 개발 추진 <ul style="list-style-type: none"> - (영상기) 천리안위성 2A호 후속 기상위성 개발 추진 - (탐측기) 온실가스·대기연직관측용 초분광적외탐측기 위성개발 추진 ※ 후속 기상 영상기 및 탐측기의 대용량 위성자료 처리를 위한 차세대 기상위성 운영 플랫폼 구축 기획연구 추진('24~) ○ 대기 저층부 관측 및 레이더 음영지역 해소 등 위험기상 감시공백 최소화를 위한 기상레이더 관측망 확대('26~'28) <ul style="list-style-type: none"> - 대형레이더 3대 신설(여수, 가거도, 울릉도) 및 소형레이더 공동활용 확대
2-1. 기후위기 종합 감시 및 분석 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후위기에 대한 다각적 추적·분석 역량 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 온실가스 등 위험핵심기후변수 생산 및 기후변화감시·활용 연구 ○ 동아시아·한반도 기후변화 감시 기반 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 감시 신규 관측요소 및 입체감시 확대
3-1. 미래예측역량 향상을 위한 원천기술 마련	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능기술을 활용한 위성관측 한계 극복 및 활용 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 고품질 초고해상도 위성산출물 생산을 통한 위성기반 위험기상 관측·탐지 자동화 및 도로기상서비스 지원 기술 개발 - 수증기 위성영상예측자료 등 위험기상 특보선행 인지 시스템 구축

출처: 기상청(2022), 제4차 기상업무발전 기본계획(2023-2027), 참조 재작성

- 중점과제 ‘1-3 첨단 위험기상 감시·관측체계 고도화’, ‘2-1 기후위기 종합 감시 및 분석 역량 강화’, ‘3-1 미래예측역량 향상을 위한 원천기술 마련’ 부분에 위성관련 내용이 포함되어 있음

그림 2-4 [제4차 기상업무발전 기본계획의 비전 및 목표]



출처: 기상청(2022), 제4차 기상업무발전 기본계획(2023-2027)

1.1.7. 기상청 관련 정책(2): 국회 기후위기특별위원회 전체회의(업무보고, 2023년 4월)

□ 기상청의 초소형위성 개발 필요성 대두

- 미국, 유럽, 일본 등 해외주요국들은 온실가스 관측을 위한 위성을 개발하여 운영 중이나, 우리나라 기상청은 해외 위성자료를 준실시간으로 입수하고 검증하여, 이산화탄소, 메탄, 오존의 온실가스 지도를 서비스하고 있음
- 온실가스 감시는 현재 가용한 외국의 4개 위성자료를 1일, 10일, 30일, 60일, 90

일로 합성하여 제공하며, 영역은 전구, 동아시아, 한반도로 제공하고 있음

- 다수의 초소형위성 및 정지위성으로 온실가스를 관측하게 되면 온실가스 농도의 시간해상도를 월 단위 평균에서 1일, 1주일 단위로 높일 수 있음

□ 기상청의 초소형위성 개발 추진계획

- 기상청은 천리안위성, 천리안위성 2A호의 위성개발·운영활용의 경험을 살려 온실가스 감시를 위한 초소형위성 개발 및 운영을 2단계로 나누어 추진 예정
 - 2023년 기획연구 추진, 2024년 위성개발 상세설계, 2025~2027년 개발·발사하여, 2028년부터 자료 제공 예정
- 위성개발과 현업운영에 필요한 기술을 부처 분담으로 진행 및 기술과 경험 축적
 - 기상청: 이산화탄소 관측을 위한 초분해 분광 관측기술 개발
 - 환경부: 메탄 관측을 위한 50m급 고해상도 관측기술 개발

1.2. 해외 주요국 초소형위성 정책 동향 분석

1.2.1. 미국

□ 민간의 기술혁신을 통한 우주산업 진흥 정책을 가장 적극적으로 추진하는 국가이며, 이러한 기조는 소형위성 분야에서도 나타남

- 정부가 직접 소형위성을 개발하기보다 지속가능한 산업 생태계 유지를 위해 민간의 핵심 기술개발 지원과 소형위성 서비스의 수요자 역할을 자처
 - 미국 방위고등연구계획국(DARPA)은 소형위성과 소형발사체를 국방 분야에 활용하기 위해 Vector Space, Viasat 등 기업을 선정하고 우주환경에서의 기술검증을 지원
 - 미 국립기상청(NOAA)은 Spire Global社가 보유한 GNSS-RO 데이터와 상업용 위성에서 기상데이터를 확보하여 기존 대형위성 임무를 대체하는 시도를 추진
- 미 행정부는 자국의 소형위성 산업의 경쟁력을 키우기 위해 소형위성과 관련된 거래규정을 국제무기거래규정(ITAR)에서 수출관리규정(EAR)으로 완화
 - 규제완화를 통해 국방 임무를 목적으로 개발된 부품을 제외한 소형위성 부품은 제3국에 수출을 허용하고, 구경 50cm 이하의 카메라로 촬영한 지구관측 영상 판매도 가능
- 미국은 기존 미국 최우선 정책(America First Policy)을 유지하며 군사 부문 우주 정책과 상업 규제 개혁을 통해 우주 분야에서 자국의 이익을 보호하는 전략을 시행
 - 스페이스X는 재사용발사체 기술개발 이후 지속적으로 저궤도위성을 발사하여 스타링크를 구축하여, 현재 글로벌 서비스를 확대하고 있음
 - 아마존 위성 인터넷 서비스 ‘카이퍼’ 승인, 아마존은 Ka대역(26.5~40GHz 대역으로 5G 통신용 고주파 대역 수준) 뿐만 아니라 Q/V대역(30~70GHz의 초고주파수 대

역)을 이용하는 통신탑재체를 개발 중이며, 보잉社도 저궤도 위성통신사업 허가를 승인받음

□ 소형위성 기술혁신을 위해 NASA와 DARPA가 중심이 되어 대학 및 민간 지원 R&D 프로그램 운영

- NASA는 개발시간을 단축한 저비용 개발, 새로운 환경에서의 운용 등의 목표를 달성하기 위해 소형위성 기술혁신을 지원하는 SST 프로그램을 운영하고 있음
 - 우주탐사, 기술검증, 상업화에 적용할 소형위성 개발에 2년간 최대 20만 달러를 대학에 지원하고, 2013년부터 현재까지 총 38개 대학이 수혜를 받았음
- DARPA는 기존 고비용의 군사용 지구관측 위성을 대체하기 위한 플랫폼에 소형 위성 군집운용 시스템을 선택하고 Blackjack 프로그램을 추진함
 - 2018년 시작된 Blackjack 프로젝트는 소형위성 20여 기로 구성된 군집위성 시스템 구축을 목표로 기존 고비용 군사용 대형위성 대체 가능성을 확인할 예정이며, 이를 위해 Airbus(290만 달러), Blue Canyon(150만 달러), Telesat(280만 달러) 등에 개발비용을 지원함

1.2.2. 유럽

□ 유럽의 우주관련 정책은 유럽우주국(ESA)을 중심으로 추진되고 있고 위성통신과 IoT 분야에서 두각을 나타내고 있으며 영국·독일·프랑스의 참여가 활발함

- ESA는 '16년 우주 상업화 및 디지털화의 중요성을 인식하고 민간 및 비우주분야(자동차·ICT 등)와의 융합을 위한 지침(Towards Space 4.0 for a United Space in Europe)을 발표함
 - 영국의 OneWeb은 저궤도 통신위성을 총 634기 발사(2023.5.기준)하였으며 글로벌 서비스 준비 중(2023년 말까지), 영국의 우주센서업체 Lacuna space는 2021년까지 총 24개의 위성을 발사하여 글로벌 IoT 서비스를 추진 중
 - 독일의 Mynaric社는 위성간 레이저 통신 단말을 캐나다 위성통신기업 Telesat에 공급(2020.10)
 - 프랑스의 Eutelsat는 IoT 기업인 Sigfox와의 협업을 통해 총 25개의 초소형 위성발사

□ 유럽은 권역 내 기업과 대학 등에서 수행하는 소형위성 연구개발을 민간 자본 유도를 통해 지원하고 소형위성 생태계 구축에 초점

- 유럽우주국(ESA)은 혁신적인 우주부품 개발과 우주환경 실험을 지원하는 ARTES Pioneer 프로그램을 통해 스타트업 기업이 우주 임무 공급자(Space Mission Provider) 역할을 담당하도록 지원

- 위성 제작부터 위성 정보 제공에 이르는 모든 서비스를 제공하는 기업(one-stop shop)으로서 타 기업 등이 보유한 기술을 개량하여 비용을 효율적으로 절감하고 고객의 요구에 부합하는 서비스를 제공
 - 동 프로그램을 통해 큐브위성 개발에 성공한 영국 Open Cosmos社は ESA와 영국이 추진하는 지구관측 군집위성 프로그램(MANTIS), 스페인 기업 Sateliot社가 구축 중인 통신 군집위성 개발에 성공적으로 참여
 - 영국은 2010년대부터 우주산업 진흥을 적극적으로 추진하였고 브렉시트의 영향으로 유럽연합 자산 활용이 제한되는 상황을 대비하여 소형위성을 적극 활용
 - 우주 수송을 준비하는 Virgin Orbit社가 활용할 우주공항을 구축하고, 브렉시트 이후 유럽연합 자산 활용이 제한되는 상황을 OneWeb社 인수 등을 통해 해결하고자 함
 - 프랑스 우주청(CNES)은 2018년 민간 벤처캐피털 재원(CosmiCapital)을 활용하여 소형 위성 시장에 진입하는 자국 기업을 지원
- 유럽우주국(ESA)과 회원국은 소형위성의 공공서비스 분야 활용 확대와 상업화에 투자하고 기업의 개발 이력 확보에 초점을 두고 진행하고 있음
- ESA는 성숙도가 낮은 기술(TRL 3 수준)의 우주환경 검증을 지원하는 GST 프로그램을 운영하고 소형위성 부품과 큐브위성 개발에 투자함
 - GST 프로그램에서는 2013년부터 큐브위성 개발에 투자하고 다양한 비즈니스 모델 창출, 기술검증, 교육 등에 활용하며, 총 12개 팀을 지원 하였음
 - 프랑스는 지구관측 소형위성 플랫폼의 활용도와 높은 시장 잠재력을 확인하고 국립우주연구센터(CNES) 중심의 관련 투자를 확대중에 있음
 - 지구관측 군집위성 개발 프로그램인 CO3D을 2019년부터 추진하고 2022년까지 산업적 파급효과가 높은 해상도 50cm급 3차원 영상 확보를 목표
 - 프랑스 큐브위성 산업 진흥을 위해 지구환경 감시 군집위성(Argos)의 선행 위성인 ANGELS를 자국기업인 Nexeya社와 함께 개발하고 큐브위성 플랫폼 확보
 - 영국은 소형위성을 공공서비스 분야에 활용하기 위한 R&D 프로그램을 추진하고 기술력을 갖춘 자국기업을 적극 활용하고 있음
 - 영국 국방부는 해상도 1m급 지구관측 컬러 동영상 촬영할 수 있는 100kg급 Carbonite-2 위성개발을 위해 자국기업인 SSTL社에 450만 파운드를 투자
 - 또한, 소형위성의 국방 분야 적용 가능성을 확인하고 미국과 협력하에 정보습득 도구로서 2019년 소형위성 확보에 3천만 파운드를 추가 투자
 - 영국 우주국(UKSA)은 자국 영토에서 상업용 소형위성 발사를 목표로 자국기업인 Orbex社에 2018년 550만 파운드를 투자하고 점진적으로 확대할 예정

1.2.3. 일본

- **비교적 높은 기술 수준을 보유하고 있으나 산업 기반은 뉴 스페이스 추세에 뒤처져 어려움을 겪고 있으며 최근 다양한 지원정책을 통해 우주산업과 기술기반 확충하고자 노력 중**
 - 2008년도에 우주기본법을 발표하고 우주개발 및 활용에 관한 국가적 틀을 정의
 - 2020년 6월 제4차 우주정책 기본계획(4th Basic Plan on Space Policy)을 발표하고 향후 20년간의 우주 관련 정책을 수립함
 - 2020년 300억 엔의 예산을 투입하여 미국 주도의 ‘Lunar Gateway’ 를 비롯한 다양한 심우주 탐사 임무를 계획함
- **소형위성을 국가안보에 활용할 뿐만 아니라 미래 우주산업을 주도할 주요 시장이라고 판단하고 자국 내 기업 육성을 위한 자금 지원 정책을 수립**
 - 소형위성의 활용 분야로 군사 및 경찰 활동에 주목하고, 우주기본계획에서 소형위성을 우주 안전보장 또는 우주부품 실증에 활용하도록 명시하고 있음
 - 우주기본계획(2015)에 ORS(Operationally Responsive Space)형 소형위성 연구를 착수 및 장기적 지속과제를 제시함
 - ORS형 소형위성과는 별도로 단기발사형위성의 실증연구가 2016년 착수되었으며, 2021년 발사 후 2023년까지 실증 운용 예정임
 - 우주 벤처 육성을 위한 새로운 지원 패키지(2018)를 발표하며, 민간주도의 우주산업 성장을 위한 기틀을 마련하였으며, 2020년 우주기본계획 개정을 통해 강대국과 동등한 경쟁력 확보 추진
 - 최근 개정(2020.6.30)된 우주기본계획을 통해 일본 내 우주산업 규모를 현재 1조 2천억 엔에서 2030년 초 2배까지 확대 목표를 제시함
- **일본은 소형위성을 우주산업 생태계 변화의 중요 요소로서 인식하고 소형위성 관련 R&D를 전방위적으로 추진하고 있음**
 - 일본은 연간 약 20억 엔을 투자하여 소형위성을 활용한 우주 부품의 우주환경 실증 기회를 정기적으로 제공
 - 1차 지원을 거쳐 200kg급 소형위성 1기, 60kg 이하 초소형위성 3기, 3U 이하의 큐브 위성 3기가 2019년 발사되었고, 10개 기관이 제작한 13개 부품을 실증함
 - 일본 문부과학성은 소형발사체 Epsilon의 성능향상과 위성탑재공간 확대(2013~2017, 60억 엔) 및 동반탑재 시스템 개발(2014~2018, 12억 엔)에 투자

1.2.4. 중국

□ 중앙정부 중심의 우주산업 발전에서 기업에게 상업목적의 우주개발 허용

- 중국의 우주산업은 정부주도로 발전되어 왔으나, 2014년 민간 우주 육성을 위해 Document 60 발간과 2015년 중국제조 2025 발표 이후 기업에게 상업목적 우주개발 허용
 - 중국의 장점인 제조업을 기반으로 민간의 우주관련 투자가 증가하여 현재 약 100개가 넘는 민간 우주기업이 생겨났으며, 소형위성 하이시 1호(Hisea-1) 개발 등 대부분 위성 제작 및 발사 서비스에 중점
 - 민간 기업에 대해 중국은 정부 계약과 보조금 등을 이용해 상업 우주분야를 장려하고 있으며, 특히 지방 정부는 벤처 캐피털을 이용해 지역에 위치한 우주기업들에 대해 적극적 투자를 하고 있음

□ 저궤도 군집위성 시험을 위한 위성 발사

- 국영기업인 CASC(우주항공과학기술그룹)을 중심으로 민간 우주기업의 참여 유도하고있으며 최근 저궤도 군집위성 시험을 위한 Hongyan(鴻雁)과 Hongyun(虹雲) 시험위성 발사
 - 중국 위성 국가망 사업인 '귀왕(国网)' 저궤도 군집위성 건설을 위한 기업 설립 발표(2021.5)
 - Xingyun(行雲) 그룹은 자체 개발한 Xingyun-2 통신위성에 레이저 통신 단말을 장착하여 발사(2020.5)
 - Ka 대역과 Q/V 대역을 시험하기 위한 위성 Yinhe(銀河)-1을 발사(2020.1.)

2. 국내의 초소형위성 산업 동향 분석

2.1. 국내 산업 동향

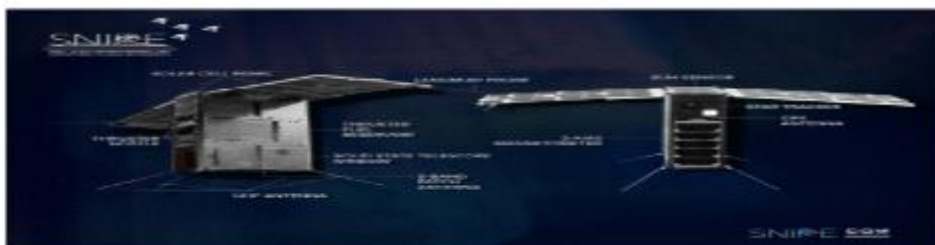
□ 국내 초소형위성 산업은 정부 중심 국가 수요 대응 생태계와 기업 중심 해외수출 생태계로 구분

- 정부 수요를 기반으로 개발되는 차세대소형위성과 초소형군집위성은 KAIST 인공위성 연구소가 개발을 주관하고 탑재체와 부품은 출연연구소와 기업이 납품
 - 한국천문연구원 이 개발한 도요셋(SNIPE)위성은 누리호 3차발사 시 성공적으로 발사에 성공하여 근지구 우주 공간 플라즈마 미세구조의 시공간적 변화 동시 관측 임무를 수행 중으로 정상적으로 작동하는 최초의 국내 초소형위성임
 - 차세대소형위성2호에 탑재되는 소형 X-band 영상레이더(SAR)와 근지구 우주방사선 관측기(NISS)는 인공위성연구소와 천문연이 제작, 우주핵심기술개발 사업에서 개발된 총 4개의 기술검증 부품은 산업기술대학교 등 교육기관과 두시텍 등 기업이 제작
 - 초소형군집위성개발사업에서 개발될 국내 최초의 지구관측 군집위성 시스템은 본체와 체계개발을 KAIST 인공위성연구소가 담당하고 주 탑재체는 쉘트렉아이사가 제작
- 우리별 시리즈 위성개발 경험을 토대로 설립된 쉘트렉아이사는 전 세계 소형위성 시장에서 경쟁력을 갖춘 기업으로 성장
 - 다양한 소형위성 플랫폼, 광학 탑재체, 지상국 등 독자 소형위성 제작 및 운용 솔루션을 보유하고, 말레이시아, UAE, 스페인 등지에 해상도 1m급 상업용 지구 관측 소형위성을 성공적으로 수출

□ 큐브위성 시장의 초기 진입장벽이 낮은 장점을 활용하여 최근 정부 R&D 지원 및 자체 투자를 통해 다수의 기업이 진출하고 있음

- 큐브위성 개발은 그간 대학 인력양성을 위해 정부R&D 중심으로 추진되었으나, 플랫폼 수요 증가와 기업의 참여 확대 기초에 힘입어 독립된 생태계가 형성되고 있음
 - 우주과학 등 큐브위성 플랫폼의 정부 수요가 늘어나고 우주개발 사업에 기업의 참여를 확대하는 정부 기초에 힘입어 기존 우주개발 사업에 참여한 기업이 신규로 진입

그림 2-5 [한국천문연구원이 개발 중인 도요셋(SNIPE) 기술검증 모델]



출처: 한국과학기술기획평가원(2020), 소형위성

- 정부R&D 위성개발사업에 부품 공급 역량을 갖춘 저스텍, 솔탑, 센서피아 등 중소기업이 큐브위성 개발사업에 참여하거나 독자적 기술개발을 추진
- 정부R&D 수행을 통해 경험을 축적한 인력들이 큐브위성 제작 및 관련 기업을 설립하고 공공수요 사업에 참여하고 있음
- 큐브위성 경연대회 참여 경험을 토대로 설립된 큐브위성 개발업체인 나라스페이스사는 다양한 국내 출연기관 및 지자체 사업에 참여 중임
- 페리지에어로스페이스는 최초의 국내 소형발사체 개발 기업으로서 40kg급 탑재체를 지구 저궤도(500km)에 실어나르는 발사체를 개발 중이며, 이노스페이스가 후발 주자로 합류
- 벤처캐피탈 등 국내 민간 재원으로 개발되는 페리지에어로스페이스의 Blue Whale1 발사체는 1백만 달러의 저비용 발사비 달성을 추구하고, 2023년 말 제주에서 첫 발사 예정
- 이노스페이스는 하이브리드 로켓 엔진을 이용하는 ICARUS 발사체를 탑재중량에 따라 구분하여 개발 중이며, 2021년 연소실험 성공
- 루미르, 카이로스페이스의 경우에도 자체 개발한 위성 Lumir-T1, KSAT3U을 누리호 3차 부탑재 위성으로 발사 성공
- 카이로스페이스의 KSAT3U 위성은 국내 초소형위성 처음으로 한반도(2023.8.7, 경남 사천과 통영 일대)의 지표면 영상을 촬영하여 지상국으로 전송을 성공하였음
- 초소형 인공위성 스타트업인 나라스페이스사는 최근 대기 중 메탄 농도를 실시간으로 모니터링하는 초소형 위성 프로젝트를 추진하고 있음
- 서울대학교 기후연구실, 한국천문연구원과 함께 국내 최초의 메탄 모니터링 위성을 개발하는 '나르샤 프로젝트'를 착수함
- 나라스페이스가 위성 본체를 개발하고, 탑재 카메라 개발은 한국천문연구원이, 수집된 영상·이미지를 활용해 메탄 농도를 측정하는 기술 개발은 서울대 기후연구실이 담당할 예정임

□ 대기업, 국방·방산 업체를 중심으로 위성체 및 발사체 개발 기업 확대 추세

- 위성체·발사체 분야는 방위산업 관련 기업이 다수 참여하고 있으며 KT SAT, 한화, 한국항공우주산업, 쉐트렉아이 등 여러 분야에 걸쳐있는 기업도 존재
- 위성체의 경우 LIG넥스원, 한국항공우주산업과 같이 방산업체가 사업영역을 확장 사례 및 AP위성, 쉐트렉아이와 같이 위성전문 중소기업도 존재함
- 발사체는 ICBM(대륙간탄도미사일)의 원리와 유사하므로 한화에어로스페이스 등 방산업체가 기술력에 강점을 보유하고 있음

- 지상장비의 경우 하이게인안테나, 제노코 등 지상국 안테나 전문기업과 기존 한국항공우주연구원 소속 전문가가 창업한 스피노프한 컨텍과 같이 지상국 서비스 전문기업이 존재
- 위성활용 서비스 및 장비의 경우 민간기업 중 유일하게 자체위성을 보유하고 있는 KT SAT과 KT스카이라이프, 휴맥스 등 위성방송통신용 장비 기업이 있으며 인텔리안테크놀로지스는 위성통신 VSAT용 안테나 세계 1위 기업임
- 위성 데이터 활용 분야의 경우 한국항공우주산업·썬트렉아이 등 위성산업분야 주요기업뿐만 아니라 한글과컴퓨터 등 국내 IT 기업들도 위성 데이터 처리·활용 분야에 진출 중
- 한국항공우주산업(KAD)는 '20년 민간기업 최초로 우주센터를 건설하고 최근 국내 항공영상분석 기업 메이사를 지분 인수하여 위성데이터 서비스를 준비 중
- 썬트렉아이는 자회사로 인공지능 기반 위성영상 분석기업인 에스아이에이를 설립
- 한글과컴퓨터는 위성관련 스타트업 인스페이스를 인수하여 지구관측용 민간위성 세종 1호 발사하였으며, 초소형통신위성체 개발 및 위성 지상국 데이터 처리 SW를 판매 중임

2.2. 해외 산업 동향

- 소형위성 비즈니스 모델은 기존 위성산업과 차별화된 솔루션을 제공하며, 대형위성 시장 대비 개발 리스크가 낮고 투자회수 기간이 짧은 특징을 지님
- 소형위성 산업의 가치사슬(Value Chain) 각 단계는 공공 재원이 주도하고 있는 기존 대형위성산업 대비 민간 재원에 의한 지배력이 점차 강화되고 있음
 - 제작, 발사, 통신, 위성정보 가공 및 서비스 등 소형위성의 전체 가치사슬에서 민간이 기술혁신을 주도하고 정부와 민간 대상으로 사업화를 통해 수익이 발생
- 특히, 군집위성 서비스가 증가함에 따라 소형위성 발사 대수가 급격히 확대되고 발사 서비스 등 관련 시장이 급팽창할 것으로 예상
 - 2010년부터 2019년까지 발사된 군집위성이 864기, 개발비 41.6억 달러에서 향후 10년(2020~2029)은 8,441기, 275.0억 달러로 각각 10배, 7배 확대 예상
 - 군집위성 수요 증가에 따라 소형위성 발사 시장은 지난 10년간 발사된 1,805기, 146억 달러에서 향후 10년간 10,105기, 513억 달러로 크게 성장할 것으로 전망
- 대형위성 대비 투자회수(ROI) 기간이 짧고 개발 리스크가 낮은 장점으로 인하여 대형 자본을 보유한 IT기업과 벤처캐피탈은 발사/개발/운용/서비스 등 관련 분야 투자 확대
 - 구글, 소프트뱅크 그룹 등 IT분야 선도 업체는 Starlink와 OneWeb 서비스에 투자하고 차세대 인터넷 서비스의 선점을 시도

□ 소형위성 대수 급증에 따라 위성제작 및 부품 산업이 크게 성장하고, 부품의 표준화와 상업화는 소형위성 시장 성장의 주요 동력으로 작용

- 소형위성 제작 시장은 민간과 공공 분야 군집위성 수요 증가에 따라 지난 10년간 78억 달러에서 향후 10년간 244억 달러까지 성장 예상
- 소형위성은 짧은 수명으로 인하여 위성체 및 부품의 지속적인 공급체계가 필요하며 비용절감을 위한 기술의 표준화와 상업화가 주요 트렌드로 부상
 - 소형위성의 수명은 5년 이내로 임무 수행을 위해 지속적인 신규위성 수요가 제기되므로 이를 통해 위성체와 부품의 공급체계를 유지할 수 있음
 - 특히, 큐브위성 산업이 위성체와 부품의 표준화, 상업화에 힘입어 급격히 성장하였고, 중량급의 소형위성 산업에서도 유사한 트렌드가 나타나고 있음
- 큐브위성 관련 부품과 위성체는 단가를 낮추고 표준화된 크기의 기성품(COTS) 형태로 생산할 수 있어 스타트업 기업이 높은 시장 점유율을 차지하고 있음
 - 구조물, 열제어, 자세제어, 데이터처리, 추진, 통신, 전력, 탑재체 등 기능 구현을 위해 큐브위성 제작 기업은 COTS 부품을 활용하고 저비용 생산 체계를 구축

그림 2-6 [GOMspace사가 판매하는 큐브위성 6U 구조물(좌) 및 부품 예시(우)]



출처: 한국과학기술기획평가원(2020), 소형위성

□ 소형위성이 제공하는 다양한 서비스는 높은 시장 잠재력을 보유하고 있어 소형 위성의 가치 상승 요인으로 작용

- 지난 10년간 소형위성 목적은 주로 기술검증(39%), 지구관측(32%)이지만 향후 10년간 주요 목적은 통신(57%), 지구관측(15%) 등 서비스 중심의 시장으로 재편 예상
 - 향후 10년간 초고속인터넷 등 통신서비스를 목적으로 발사될 소형위성 수는 5,700기에 달할 전망이며, 이는 예상되는 전체 발사 위성의 약 56.4%를 차지
- 저궤도 군집위성 운용이 가져다주는 짧은 관측 주기, 전 지구 커버리지, 낮은 통신 지연율(low latency) 등의 장점에 힘입어 서비스의 부가가치가 매우 증가

- 위성정보 서비스 기업은 위성 보유업체로부터 영상구매를 통해 시장 진입 비용을 절감하고 A.I. 등 디지털 기술혁신에 투자함으로써 서비스 고도화에 바탕을 둔 부가가치 창출에 집중

- 군집위성이 제공하는 대용량의 데이터 수신을 위해서는 시간과 비용에 한계가 있으므로 관측 정보를 위성(On-board)에서 후처리 후 필요 정보만 지상에서 수신하는 방식이 나타남

□ 소형위성 수요가 확대되면서 소형위성에 최적화된 발사 및 위성운용 서비스 시장 등장

- 소형위성 발사는 발사체 여유 공간에 탑재하는 피기백(piggy-bag) 방식 혹은 다개체 소형 위성의 동반탑재(rideshare) 방식이 주로 사용되며 원하는 시점과 장소에서 발사가 제한

- 이에 급증하는 소형위성 발사 수요에 대응하기 위해 대형발사체를 활용한 군집위성 발사서비스가 등장하고, 500kg 미만의 탑재물을 지구 저궤도로 운송할 수 있는 소형발사체를 활용한 발사 횟수가 증가하고 있음

- 지구 저궤도에 30t급 이상을 운송할 수 있는 SpaceX社의 Falcon Heavy, Blue Origin社의 New Glenn 등 초대형발사체가 향후 발사될 소형위성 중량의 약 30%를 차지할것으로 예상

- 전 세계 다수의 스타트업 기업이 소형발사체를 개발 중이며, 현재 Rocket Lab社의 Electron 발사체 기준 kg당 약 2.4~5만 달러 수준의 발사비용이 시장확대 및 기술진보에 힘입어 향후 점차 하락할 것으로 전망되고 있음

- 소수의 지상국만으로는 군집위성의 관제와 정보 수신이 어려우므로 군집위성 시장의 성장과 더불어 전 지구 지상국 서비스를 제공하는 기업이 증가

- RBC Signals, Leaf Space, Atlas Space Operations 등

□ 최근 소형위성 분야 스타트업 기업에 투자되는 규모가 점차 증가하고, 다양한 국가에서 창업이 이루어짐

- 2010년 이후 창업한 소형위성 및 관련 분야 전 세계 스타트업 기업 46社에 최근 5년간 투자된 자본은 총 3.4억 달러이며, 연차별 규모가 최근 급격히 증가

- 스타트업 기업의 창업은 우주개발 기반이 마련된 우주개발 선진국뿐만 아니라 동유럽, 아시아 지역의 국가에서도 활발하게 일어나고 있음

- 2010년 이후 창업한 스타트업 기업의 33%는 미국, 중국, 인도 등 우주개발 선진국 외 체코, 에스토니아, 핀란드, 싱가포르, 오스트레일리아 등 국가를 기반으로 활동

3. 초소형위성 기술개발 동향 분석 및 미래전망

3.1. 초소형위성 기술개발 동향

3.1.1. 국내

□ 우리나라 최초의 인공위성인 우리별 1호를 시작으로 국내 소형위성은 우주환경 검증과 우주과학을 목적으로 개발이 진행되고 있음

○ 1992년 KAIST는 영국 서리(Surrey) 대학과의 협업을 통해 우리별 1호를 성공적으로 개발하였고, 이후 KAIST 인공위성연구소가 주축이 되어 소형위성 플랫폼을 확보

- 우리별 위성 제작 시 획득한 위성체계 개발 경험을 토대로 독자 소형위성 플랫폼을 확보하였고, 이후 과학기술위성과 차세대소형위성 플랫폼으로 확장

○ 국내 과학기술위성 개발사업과 차세대소형위성 개발사업은 다양한 부품과 기술의 우주환경 검증을 수행하고, 중대형 위성에 적용될 부품의 사전 기술시연 플랫폼으로도 활용

- 과기부 우주핵심기술개발사업 등에서 개발된 별추적기, 반작용 휠, 표준형 탑재 컴퓨터 등 국산화를 목적으로 개발된 부품의 우주환경시험을 목적으로 차세대소형위성에 탑재하여 검증하고 있음

- 국내 우주과학 및 천문학 연구를 위한 전용 플랫폼이며, 국제협력 바탕으로 탑재체 개발을 통해 독자적 우주망원경 기술을 확보

- 과학기술위성 1호 주탑재체 원자외선 영상분광기 FIMS(2003), 과학기술위성 3호 주탑재체 근적외선 영상시스템 MIRIS(2013), 차세대소형위성 1호 주탑재체 근적외선 영상분광시스템 NISS(2018) 등 소형위성 주 임무 탑재체를 국제협력 및 국내 독자 기술로 성공적으로 개발 완료

- 이를 통해, 근적외선 영역의 탑재체 광학계 및 구조부의 열해석 및 제어 기술 확보

□ 뉴 스페이스 시대의 도래와 함께 개발비용이 중대형위성 대비 상대적으로 매우 저렴하여 산학연에서 다양한 미션들이 시도되고 있음

○ 국내 최초의 초소형군집위성인 도요셋(SNIPE)는 2023년 5월 누리호 3차 발사를 통해서 발사되어서, 4기중 3기가 현재 성공적으로 임무 수행중

- 도요셋의 성공적인 운영을 통해 초소형위성의 군집편대비행 기술의 노하우를 축적

○ 최근 큐브위성 분야에 대한 관심이 높아지면서 위성부품 기업과 신생기업의 시장 진출이 활발하게 진행되고 있으며 정부도 다양한 공공서비스에 큐브위성 활용을 준비하고 있음

- 국내 기업은 위성 구조물, 자세제어 모듈, 마이크로 추력기, 배터리, 송수신기 등

위성부품과 지구관측 탑재체를 개발하고, 위성 제작뿐만 아니라 위성정보 활용을 통한 비즈니스모델 창출 중

- 정부는 활용도가 높은 큐브위성의 군집운용 구축을 통해 우주환경감시, 준 실시간 지구관측 등 기존 대형위성과의 임무를 차별화하고 공공서비스에 활용하기 위한 연구를 진행

표 2-9 [국내 위성관련 주요기업 기술개발 동향]

기업	주요내용(기술개발 현황 등)
한화시스템	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국방과학연구소와 679억 규모의 '초소형위성체계개발사업' SAR 검증위성 1기 개발 계약 체결 ○ 한화시스템은 2027년 6월까지 초소형 위성 관련 각 위성 구성품의 기능을 검증하는 EM, 각 위성 구성품의 발사환경 및 우주환경 인증을 위한 QM, 각 구성품 간 연동 시 기능 검증을 위한 ETB, 위성체 구조물 내에서 각 구성품 기능 검증을 위한 STM, 실제 우주로 발사할 초소형 SAR위성의 FM을 개발 할 계획
카이로스페이스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국제우주정거장(ISS) 및 위성용 탑재체 50개 개발(큐브셋용 별추적기, 발사관 등 납품) ○ 소형경량 저비용의 큐브셋 플랫폼 보유, EUV 반도체장비 광학시스템 설계 및 제조 ○ KSAT3U 위성 경남 사천과 통영 일대를 촬영해 지상국으로 전송(2023.8.7.)
루미르	<ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대중형위성 탑재체 영상자료처리장치 및 본체컴퓨터 납품 ○ 0.3m 초고해상도 초소형 SAR 위성, 1500ch 초분광카메라 초소형위성 ○ 누리호 3차 부탑재 위성으로 자체 개발한 위성 LUMIR-T1 발사 성공(2023.5.25.)
저스텍	<ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대소형위성 1호 제어 모멘트 자이로스코프(CMG) 제작 ○ 누리호 3차 발사의 주 위성의 자세제어 주 구동기로 JRW-005 선정 ○ 누리호 3차 부탑재 위성으로 자체 개발한 위성 JAC 발사(2023.5.25.)
나라스페이스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서울대 기후연구실, 한국천문연구원과 대기 중 메탄 농도를 실시간으로 관측하는 초소형 위성을 개발하는 '나르샤 프로젝트'에 착수(2023.9.) ○ 한국 첫 상용 큐브위성(초소형 위성) '옵저버 1A' 발사(2023.11.12.) -'옵저버 1B'와 '부산셋' 등 두 차례 발사 예정(2024)
셋렉아이	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초고해상도 위성, 군집용 초소형 위성을 개발 및 수집한 위성 영상을 인공지능(AI)으로 정확도를 높여 서비스하는 사업 제공 ○ 초소형 위성용 고해상도 전자광학탑재체 개발(EOS-M)
텔레픽스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 초소형위성용 광시야 TMA 전자광학탑재체 표준화 플랫폼 개발 ○ 블루카본 모니터링 AI 인공위성 개발 및 발사예정(2024)

출처: 개별 기업별 홈페이지 참조

3.1.2. 해외

- 고비용 고신뢰성 부품을 사용하는 중대형위성과 달리 소형위성은 상대적으로 저비용 저신뢰성의 상용부품을 사용하고 대량 생산을 통해 리스크 저하를 추구
 - 장기간 운용요구 조건과 고해상도 카메라와 검출기, 정밀자세제어, 대용량 전력이 필요한 대형위성은 고신뢰성이 요구되는 부품이 사용되는 만큼 고도의 기술력이 요구
 - 부품의 신뢰성 확보에는 우주환경에서의 기술검증이 완료되어야 하므로 개발 시 고비용이 발생하고 국가안보 이슈에 따라 국가 간 거래도 제한사항이 있음
 - 반면, 짧은 운용기간과 고도의 임무가 요구되지 않는 소형위성에는 상대적으로 낮은 신뢰도를 가진 저가 부품이 사용되며 글로벌 시장 내에서 부품의 거래가 원활
 - 상용 기성품을 뜻하는 COTS(Commercial Off The Shelf) 기반의 규격 부품이 소형 위성에 사용됨으로써 개발시간이 단축되고 비용이 절감되는 장점이 있음
 - 초기 시장 진출에 대한 진입장벽이 낮아짐으로써 우주개발 경험과 기술력이 부족한 국가나 스타트업 기업이 쉽게 접근할 수 있는 분야로 주목되고 있음
 - 아르헨티나 등 남아메리카 국가, 말레이시아 등 동남아시아 국가, UAE 등 중동 아시아 국가
- 동일 위성체의 대량 생산이 이루어지면서 군집운용(Satellite Constellation)이 용이해 지고 중대형위성의 단점을 보완한 새로운 위성정보 서비스가 가능해짐
 - 다수의 동일 임무 위성체를 운용하면 특정 지역의 준 실시간 관측과 전 지구 커버가 필요한 인터넷 통신에 최적화된 서비스를 제공할 수 있음
 - 중대형위성과 달리 초소형위성은 군집운용이 가능하다는 점에서 넓은 지역을 동시에 관측하는 등 상대적으로 넓은 지역의 데이터를 확보할 수 있다는 장점이 있음
 - 최근의 개발추세에 따라 소형위성 플랫폼의 활용 분야가 다변화되고, 특히, 지구 관측, 위성통신, 우주과학 분야에 두드러진 진보가 나타남

3.2. 초소형위성 개발 미래전망

- 초소형위성 관련 정부 R&D규모는 점진적으로 확대되고 있으며, 이러한 추세는 지속 될 것으로 전망
 - 국내 소형위성 개발 정부R&D는 국가 우주개발의 시초인 1992년 우리별1호 개발에 38.2억 원을 투자한 것을 시작으로 꾸준히 투자규모를 확대
 - 2019년~2022년 초소형위성 분야 R&D 투자규모는 총 924억 원이며, 점차 확대되어 2022년에는 초소형 위성관련 정부R&D 사업에 536억 원 투자

표 2-10 [2019~2022년도 초소형위성 분야 정부R&D 투자규모 연차별 추이]

기업	초소형 위성 관련 정부 R&D 투자 규모
2022년	○ 536억원(기초연구: 24%, 응용연구 24%, 개발연구 44%, 기타 7%)
2021년	○ 229억원(기초연구: 27%, 응용연구 11%, 개발연구 42%, 기타 18%)
2020년	○ 114억원(기초연구: 49%, 응용연구 19%, 개발연구 1%, 기타 30%)
2019년	○ 45억원(기초연구: 37%, 응용연구 29%, 개발연구 1%, 기타 31%)

출처: 과학기술정책지원서비스(<https://www.k2base.re.kr/index.do>)

- 연구단계별 투자는 2019~2020년의 경우 기초연구의 비중이 높았으나, 최근 개발 연구의 비중이 증가하는 추세임
- 소형위성 분야 정부R&D는 우주과학 및 부품 검증을 위한 소형위성의 안정적 확보와 국가안보 및 재난 대응을 위한 초소형위성 개발에 투자를 확대
 - 우리별위성 개발 이후 추진된 과기부 소관 소형위성개발사업은 과학기술위성 1, 2, 3호, 차세대소형위성 1, 2호 개발로 이어지며 국내 소형위성 플랫폼의 완성도를 확보
- 과기부 등은 국가 재난재해 감시를 위한 초소형위성군집시스템개발사업을 추진하고 초소형 위성 11기로 구성된 군집위성 시스템 구축 예정
 - 국방 분야는 방위사업청 미래도전기술훈발사업에서 초소형 SAR 위성군 운용 능력 확보 프로그램을 2019년부터 추진 중, 국방과학기술연구소와 다수의 국내 기업이 참여함
- 부산광역시는 국내 지자체 최초로 초소형위성을 활용한 지역 내 공공서비스 제공을 준비하는 등 지역 주도의 초소형위성 생태계 투자도 진행
 - 국가균형발전위원회가 지원하는 지역발전투자협약시범사업의 일환으로 부산광역시는 해양관측 및 해양공간의 데이터 수집 사업을 추진하고 해양큐브위성을 활용
 - 지역 내 해양-ICT기반의 지역특화 서비스 육성을 위해 큐브위성용 핵심부품기술 개발 등 큐브위성 산업을 적극 진흥하고, 중앙부처와 지자체가 공동 투자
 - 항공우주 분야 기업이 밀집한 경상남도 진주시는 지역 내 산업육성과 인력양성 목적의 초소형 위성 개발에 자체 예산을 투자하고 관·학·연이 참여하는 컨소시엄을 구성
- 대전시에서 계획중인 ‘우주산업클러스터 조성사업’은 국가연구개발사업평가 총괄위원회에서 예타 면제가 확정되었으며, 24년부터 사업을 진행할 예정임
 - 국내 최대 산·학·연 우주전문 인력이 집적된 대전에 우주산업 클러스터를 조성하여 미래우주기술 개발 및 인재육성 추진

- 우주기술혁신 인재양성센터 구축사업은 총 사업비 712억원으로 카이스트 부지내 구축예정으로 ① 임무 중심 우주교육 환경 구축, ② 미래 우주 인재 양성 프로그램 개발 및 운영, ③ 산학연 글로벌 우주 교육 네트워크 허브 조성을 진행 예정임
- 연구현장 연계형 우주 인력 양성사업으로 총 261억 원이 투입되어 항공우주연구원에 큐브위성 지원센터 사업, 위성정보활용 교육센터 사업을 추진하고, 카이스트에서 기상·기후관측 모니터링 큐브위성 개발 및 기술 확산 사업을 준비하고 있음

□ **초소형위성 분야는 기존 중대형위성과 다른 새로운 비즈니스 모델을 갖춘 시장으로 진화할 것으로 예측**

- 고비용 고신뢰성 부품을 사용하는 중대형위성과 달리 소형위성은 저비용과 낮은 신뢰성의 상용부품(COTS)을 사용하고 대량생산으로 개발 리스크를 낮출 수 있음
 - 초소형 위성체의 대량생산을 바탕으로 군집운용이 용이해지고 대형위성의 단점을 보완한 위성정보 서비스가 가능
- 초소형위성을 활용한 군집운용 서비스가 지구관측, 위성통신 등에 접목되고 부품의 표준화와 상업화가 시장 성장의 주요 동력으로 작용하면서 초소형위성 제작과 부품 산업이 빠르게 성장
 - 위성정보의 서비스 시장은 높은 성장 잠재력을 보유한 분야로 부상하고, 수요 증가에 따라 발사 시장 등 소형위성 운용에 최적화된 시장도 함께 성장이 예상됨
- 초소형위성은 저비용 제작과 군집운용의 장점을 가장 잘 활용할 수 있는 플랫폼이며, 위성정보 가공기술의 고도화로 다양한 시장과 수요에 대응이 가능
 - 최근 위성 하드웨어 기술진보와 위성정보 활용 서비스의 발전에 따라 적은 비용으로 제작할수 있는 소형위성이 주요 위성정보 제공 및 서비스 플랫폼으로 급부상
 - 상용부품을 적용하여 제작 단가를 낮추고 위성 내 정보처리(On-Board Processing), 군집(Constellation)운용을 통해 지상과 준 실시간 정보 송수신 가능
- 다수의 저궤도 소형위성을 활용한 군집운용은 단시간 내 재방문 관측이 가능하고, 미터급(혹은 서브미터급) 경량 광학 탑재체를 탑재하여 다양한 서비스를 창출
 - 초소형위성에서 수신된 위성정보에 인공지능(A.I.) 등 디지털 기술을 적용하여 기상, 기후, 국방, 재난재해, 농업 등 다양한 수요에 대응 가능

4. 정책환경 분석을 통한 초소형기상위성 기술개발 필요성

4.1. 과학적 근거

□ 위성관측을 이용한 온실가스 “Top-Bottom” 정밀 감시의 필요성

- CO₂ 농도가 산업화 이전대비 20% 증가하여 200만년 동안 최고 농도에 도달하여, 2050 탄소중립이 글로벌 신패러다임으로 대두되고 있음
 - 지구 온난화로 폭염, 폭설, 태풍, 산불 등 이상기후 현상이 세계 곳곳에서 나타나고 있으며 높은 화석연료 비중과 제조업 중심의 산업구조를 가진 우리나라도 최근 30년 사이에 평균 온도가 1.4℃ 상승하며 온난화 경향이 더욱 심해졌음
 - 국제사회는 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위해 선진국에 의무를 부여하는 교토의정서 채택(1997년)에 이어, 선진국과 개도국이 모두 참여하는 파리협정을 2015년 채택했고, 국제사회의 적극적인 노력으로 2016년 11월 4일 협정이 발효됐고 우리나라는 2016년 11월 3일 파리협정을 비준하였음
 - 파리협정의 목표는 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 2℃보다 훨씬 아래(well below)로 유지하고, 나아가 1.5℃로 억제하기 위해 노력해야 한다는 것임
 - 지구 온도 상승을 1.5℃ 이내로 억제하기 위해서는 2050년까지 탄소 순배출량이 0이 되는 탄소중립 사회로의 전환이 필요함
- 초소형 위성개발 및 운영을 통한 기후변화 감시 강화는 2050 탄소중립 이행을 위한 과학적 근거 마련 및 기후위기에 대한 예측 정확도 향상에 기여할 것으로 분석됨
 - 온실가스의 고배출원 집중방출 뿐만 아니라, 전지구적·연직적 온실가스 분포와 변동성을 알아야 2050 탄소중립 이행이 가능
 - 중대형 위성을 활용한 온실가스 감시 위성개발은 고비용 및 오랜 개발기간이 소요되는 반면, 급변하는 기후변화를 감시하기 위한 빠른 개발 및 현업운영이 필요함
 - 초소형위성을 활용한 온실가스 감시는 빠른 개발 및 관측자료의 연구, 사용자 요구사항 등 신속한 개선이 가능함에 따라 온실가스 활용도 및 탑재체 개선의 선순환 구조가 가능해짐
 - 위성 관측을 통한 온실가스 산출농도에 따라 감축 정책이 결정되어야 함

□ 위성을 활용한 CO₂ 총량의 전지구적 감시 및 시공간 변동성 예측의 필요성

- 전 지구적 탄소 배출의 모니터링 필요(CO₂ satellite monitoring for climate governance)로 온실기체의 시·공간적 분포와 변화를 연속적으로 감시하는 기술 개발이 요구됨
 - 온실기체에 의한 기후변화 문제가 전세계적으로 대두됨에 따라 온실기체 감시를 위한 위성개발이 전 세계적으로 20년간 지속되었으며, 점차 확대되고 있음
 - 전지구 및 동아시아 지역의 온실가스 관측과 분석, 시공간 변동성 감시, 지구내

순환과정의 정밀 감시의 필요성이 증가하고 있음

- 특히, 동아시아는 전지구적으로 탄소 배출원이 많은 지역으로 시공간적인 변동성이 심하고 이로 인한 기후변화 및 기상재해도 발생 빈도도 증가하는 지역임

○ 특정 국가에 편중되지 않은 객관적인 CO₂ 농도 모니터링 방식이 필요함

- 지상(TCCON 등) 관측시스템이 선진국 위주로 설치되어 있기 때문에, 지상관측시스템에 의존할 경우 선진국 주변의 데이터만 주로 확보될 가능성이 높음
- 지상 TCCON 관측시스템은 한국, 중국, 일본에만 구축되어 있어 동아시아 지역의 객관적인 CO₂ 농도 모니터링이 불가능한 현실임

그림 2-7 [전세계 TCCON 감시망 구축현황]



- 지상 특정 관측소에서 CO₂의 단순한 집중방출(local emission)이 아니라, 객관적인 온실가스 위성 관측으로 CO₂ 농도산출 및 감축 정책이 결정되어야 할 필요
- 기존의 관측방식으로는 전지구 및 동아시아 지역 온실가스 농도의 시공간적 변동성 감시에 한계가 뚜렷하여, 위성관측을 활용한 운용 및 감시가 필요함

○ 온실가스 3차원 입체감시 및 저층 대기의 총량 산출지원으로 기후변화 감시 및 대응으로 활용 가능성이 증가함

- 기존 열적외 CO₂ 탐측 위성들(e.g. METOP/EARS, Aqua/AIRS)에 의한 온·습도 등의 관측자료를 활용하여 중상층 대기의 CO₂ 총량을 산출함
- 국립기상과학원에서 운영 중인 TCCON 사이트를 비롯한 전세계적 TCCON 네트워크를 활용하여 지역적 저층 대기의 CO₂ 총량을 산출함
- 근적외 센서를 활용하면 위성운영 고도에서 지표면까지 CO₂ 총량 관측이 가능해짐
- 초소형위성 탑재 근적외 센서를 이용하면, 지상 TCCON 관측을 활용하여 데이터 검증으로 신뢰성을 확보 가능하고 기존 근적외/열적외 센서 데이터와 연계하여 CO₂의 전지구적 입체분석이 가능함

□ 초소형위성을 이용한 온실가스 탐측 임무의 필요성

- 초소형위성을 이용한 온실가스 관측은 정지궤도 위성 대비 장점을 보유하고 있음
 - 초소형위성은 군집/편대 운영을 할 경우, 관측공백을 최소화하며 높은 시간해상도와 높은 공간해상도의 동시 달성이 가능하다는 장점이 있어서, 정지궤도위성의 높은 시간해상도/낮은 공간해상도, 저궤도위성의 높은 시간해상도/낮은 공간해상도의 단점을 해소 할 수 있음
 - 기상청에서 운용 중인 온실가스 지상관측시스템과 더불어, 정지/저궤도/초소형위성의 상호 보완적 활용으로 체계적, 종합적 기후변화 감시 플랫폼이 가능함
- 기상청이 초소형 위성을 활용하여 CO₂ 모니터링이 이루어질 경우 우리나라는 동아시아 지역의 지구대기감시 업무의 선도적 역할을 수행할 수 있음
 - 초소형 위성을 통한 고품질의 데이터·자료의 산출은 기후변화협약 등 국제협약의 이행에 있어 우리나라의 영향력 확대하고 대기환경 변화에 대한 국가정책수립 및 연구 활성화에 기여할 수 있음
 - CO₂ 감시 기술 및 자료처리, 활용기술로 전세계 국가들에 대한 온실가스 감시 및 운영에 대한 기술지원 등 지구대기감시의 선도적 역할수행 가능

4.2. 법적 근거

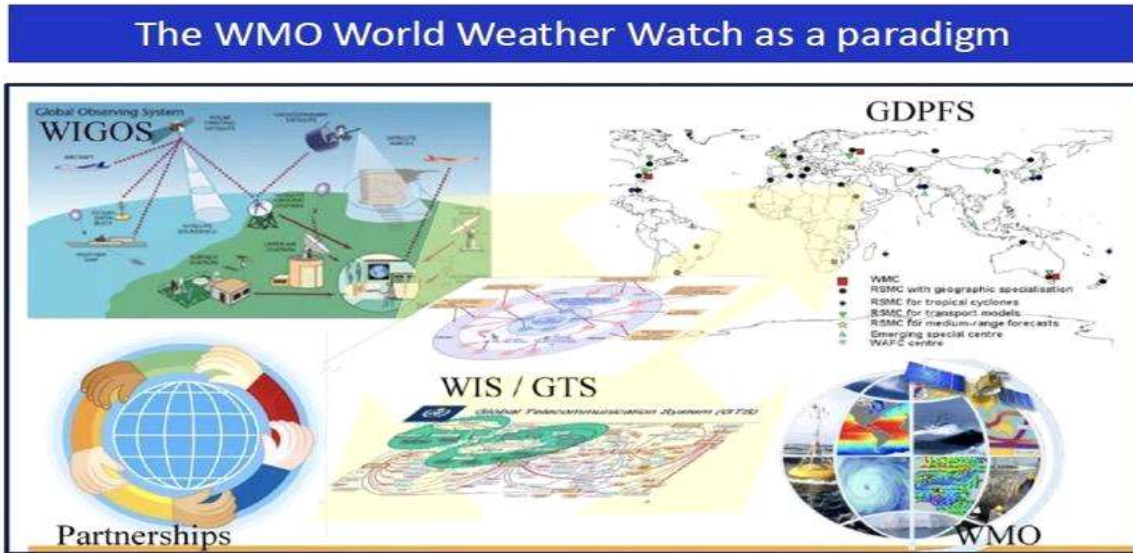
4.2.1. 국제 규제

- 온실가스 감시를 위한 초소형기상위성 개발은 교토의정서, 파리 기후협약, 글래스고 기후협약 등 다양한 국제규제·협약에 근거를 두고 있음

표 2-11 [온실가스 관련 국제규제 및 협약]

관련 국제 규제	주요내용
교토의정서 (Kyoto Protocol, 1997)	○ 기후변화 주범인 6가지 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황) 정의
파리 기후협약 (Paris COP-21, 2015)	○ 지구온난화로 인한 기온상승을 산업화 이전 대비 2°C 아래로 막고 이전 대비 1.52°C 이상 기온 상승을 제한하도록 노력
글래스고 기후협약 (Glasgo COP-26, 2021)	○ 개발도상국의 기후변화 적응에 대한 지원 강화, 온난화 억제 목표 달성을 위한 감축 목표의 추가 상향
Global Greenhouse Gas Watch 승인 (WMO, 2023.5)	○ 지상과 위성을 이용한 온실가스 감시 ○ 모델 활용 온실가스 이동 경로 추적 ○ 관측자료 간의 상호 검증 ○ 국가간 자료 교환

그림 2-8 [WMO 글로벌 온실가스 감시 페러다임]



출처: Lars Peter Riishojgaard(2022), WMO Working Paper

4.2.2. 국내 관련법

- 국내법의 경우 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(약칭: 탄소중립기본법), 기후기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률에 근거를 두고 있음
 - 탄소중립기본법에서는 국가차원에서 기상현상에 대한 관측·예측·제공 및 대기 중의 온실가스 농도 변화를 상시 측정·조사하는 기상정보관리체계를 구축·운영하도록 명시하고 있음
 - 동법 시행령에서는 기상청에 기상정보관리체계 총괄을 부여하고 있음
 - 기후기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률(시행 2024.10.25.) 제정(안)이 국회 본회의를 통과함으로써 기상청이 탄소중립기본법에 따른 기후위기에 대한 감시 및 예측 총괄·지원 기관으로서 탄소중립을 지원하기 위한 체계적인 근거를 마련

표 2-12 [국내 관련법 주요내용]

관련법	주요내용
<p>기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제37조(기후위기의 감시·예측 등) <ul style="list-style-type: none"> - 정부는 대통령령으로 정하는 바에 따라 대기 중의 온실가스 농도 변화를 상시 측정·조사하고 기상현상에 대한 관측·예측·제공·활용 능력을 높이며 기후위기에 대한 감시·예측의 정확도를 향상시키는 기상정보관리체계를 구축·운영하여야 한다

<p>기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 시행령</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제40조(기후위기의 감시·예측 등) <ul style="list-style-type: none"> - 기상청장은 법 제37조제1항에 따른 기상정보관리체계를 구축·운영하고, 기후위기 감시 및 예측에 관한 업무를 총괄·지원한다.
<p>기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률 [시행 2024.10.25.]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제3장(기후·기후변화 감시) <ul style="list-style-type: none"> - 기상청장은 기후변화 감시 정보의 생산을 위하여 기후변화 관측망을 구축·운영하여야 한다 - 기상청장은 기후변화 관측망을 보완하고 한반도 및 전지구에서의 기후·기후변화를 효율적으로 관측하기 위하여 항공기·선박·위성 등을 활용할 수 있다. ○ 제5장(기후·기후변화 감시 및 예측 정보의 제공·활용) <ul style="list-style-type: none"> - 기상청장은 기후·기후변화 감시 정보 및 기후예측 정보 등을 국민에게 알기 쉽게 제공할 수 있도록 필요한 시책을 마련하여야 한다

4.3. 정책적 근거 (상위 계획과의 부합성)

4.3.1. 국정과제

- 온실가스 감시를 위한 초소형기상위성 개발은 윤석열 정부의 국정과제 중 79.우주강국 도약 및 대한민국 우주시대 개막에 해당

표 2-13 [국정과제 79.우주강국 도약 및 대한민국 우주시대 개막 주요 내용]

구분	주요내용
<p>국정과제</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ (우주산업 활성화) 공공부문 기술의 민간이전 촉진, 기업 참여 확대를 위한 제도개선 등을 통해 New Space 시대에 민간의 우주개발 역량 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 우주산업 집적단지를 중심으로 우주산업클러스터 지정·육성 추진 - 우주개발 인프라 구축, R&D/인력 지원 등 다양한 지원 강구 ○ (독자 기술역량) 차세대 발사체 개발 등 독자 발사체 확보, 한국형 위성 항법시스템(KPS) 개발 등 우주개발 핵심분야 기술역량 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 우주개발 선진국들과 공동협력을 통해 국내외 우주 개척 활동에도 주도적 참여

출처: 대한민국정부(2022), 윤석열정부 120대 국정과제

4.3.2. 국가·부처 계획

- 중앙정부계획으로는 제4차 우주개발진흥기본계획, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)과 개별부처 계획으로는 초소형위성 개발 이행안(로드맵), 우주산업 전문인력 양성 추진방안, 제4차 기상업무발전 기본계획 등에 근거를 두고 있음

- 중앙정부 계획인 제4차 우주개발진흥 기본계획에서는 국내 산학연 기술역량을 활용한 국내 우주 기업 육성을 포함하고 있으며, 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)의 경우 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축의 주관부처를 기상청으로 명시하고 있음
- 기상청 제4차 기상업무발전 기본계획에서는 온실가스·대기연직관측용 초분광적외탐측기 위성개발 추진을 포함하고 있음

표 2-14 [국가·부처계획 주요내용]

구분	주요내용	구분
제4차 우주개발진흥 기본계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 태양풍, 우주물체 충돌·추락 등 우주위험 대비 역량을 강화하고, 국가 안보를 위한 우주시스템 등 확보·확대 <ul style="list-style-type: none"> - 재난재해 관측 데이터 확보 위성 확대 - 우주감시 체계(광학, 레이더, 레이저, 전자기 관측 장비) 확보 - 국제적 우주안보 논의 및 협력 참여를 위한 우방국과의 협력 강화 ○ 우주시스템 제조·생산 및 발사 인프라를 구축하고 이를 기반으로 글로벌 우주수송 서비스로 발전 가능한 역량 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 민간 참여 유인 및 확대를 위한 클러스터 구축 - 민간 중심의 체계를 확립하여 시장 창출 및 서비스 경쟁력 확보 ○ 민·관의 적극적 협력으로 초기시장을 창출하고, 강점 분야 연계 등으로 민간 주도 新산업 발굴·확대 및 세계시장 진출 <ul style="list-style-type: none"> - 정부와 민간이 협력하여 우주산업 초기 시장 창출 	국가계획
국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지상에서 위성까지 입체적 감시역량 강화 (기상청, 해수부, 환경부) <ul style="list-style-type: none"> - 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합 위성 개발 - 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축(기상청), 메탄(환경부, '27) 	관계부처 합동
초소형위성 개발 이행안(로드맵)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공공 수요 확대를 통한 시장 조성 <ul style="list-style-type: none"> - 국가안보를 위한 (초)소형위성 감시체계 구축 - 우주전파환경 관측을 위한 초소형위성망 구축 - 미래선도기술 확보를 위한 초소형 검증위성 개발 ○ 초소형위성 기업 성장 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 혁신적인 아이디어를 가진 중소·벤처기업이 우주 시장에 진출할 수 있도록 초소형위성 기반의 비즈니스 시범모형(모델) 개발 지원 	과기정통부
우주산업 전문인력 양성 추진방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성개발 전주기를 경험할 수 있는 '큐브위성 경연대회' 지속 추진 ○ 전문기관의 우주분야 시설·장비를 활용한 실습 지원 ○ 전략적 인력양성이 필요한 우주기술 분야를 선정하고, 산·학·연 연합체에 기반한 '미래우주교육센터' 운영 	과기정통부

구분	주요내용	구분
제4차 기상업무발전 기본계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후변화 감시강화 및 위험기상 선제대응 역량 향상을 위해 대기 다층구조 탐측·분석기술이 적용된 다중 기상위성 개발 추진 <ul style="list-style-type: none"> - (영상기) 천리안위성 2A호 후속 기상위성 개발 추진 - (탐측기) 온실가스·대기연직관측용 초분광적외탐측기 위성개발 추진 ※ 후속 기상 영상기 및 탐측기의 대용량 위성자료 처리를 위한 차세대 기상위성 운영 플랫폼 구축 기획연구 추진('24~) ○ 기후위기에 대한 다각적 추적·분석 역량 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 세계기상위성조정그룹(CGMS) 회원국으로서 위성관측자료 기반의 국제 기후변화 감시 역할 강화 ※ (예시) 동아시아 지역의 온실가스와 한반도 지역 핵심기후변수(ECV) 생산확대로 국제사회 공유 및 시공간 변동성 분석·감시('23~) 	기상청
기후위기특별위원회 전체회의	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기상청은 그간의 위성개발·운영과 활용의 경험을 살려 온실가스 감시를 위한 초소형위성 개발 및 운영을 2단계로 나누어 추진 예정 <ul style="list-style-type: none"> - 2023년 기획연구 중이며, 2024년 위성개발 상세설계, 2025~2027년에 개발·발사하여, 2028년부터 자료 제공 예정 ○ 기상청과 환경부는 경우 특성에 따라 관측 물질을 차별화 하여 개발 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 기상청: 이산화탄소 관측을 위한 초분해 분광 관측기술 개발 - 환경부: 메탄 관측을 위한 50m급 고해상도 관측기술 개발 	기상청
한반도 기후변화 입체 감시정보 제공 세부추진 계획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입체 감시자료의 단계적 수집 및 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 위성 등 원격감시 관측자료 수집·활용 기술개발 ○ 위성·항공기·선박·관측차량 등 입체 감시체계 구축 ○ 감시소, 감시요소, 감시영역에 대한 확대 	기상청

출처: 개별 정책자료 참조 재구성

5. 기상청의 개발 주도 타당성과 연계 협력 방안

5.1. 기상청 개발 주도의 타당성: 부처간 유관사업과의 차별성

□ 대통령직속2050 탄소중립녹색성장위원회 탄소중립·녹색성장기본계획에서 이산화탄소 감시 주관부처로 기상청으로 명시하고 있음

- 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)의 “기후위기 감시 체계 및 예측기술 강화”에서 지상에서 위성까지 입체적 감시역량 강화를 위한 세부 계획을 제시함
 - 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발에서 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축은 기상청으로 지정

□ 기상청의 온실가스 감시의 경험·노하우 및 임무의 연속성

- 기상청은 1987년부터 기후변화의 요인이 되는 물질들의 농도 변화를 파악하기 위해 배경 대기관측을 수행하고 있음
 - 1992년부터 세계기상기구(WMO)의 지구대기감시(GAW: Global Atmosphere Watch) 사업에 본격적으로 참여하여 배경대기, 온실가스, 오존 관측을 수행하고 있음

표 2-15 [기상청 대기관측 현황]

지점	감시기간	감시주기	자료형태	자료출처
안면도	1999년 ~ 현재	1시간	일, 월	기상청 (기후변화감시소)
고산	2012년 ~ 현재			
울릉도	2014년 ~ 현재			
독도	2014년 ~ 현재			
남극세종기지	2010~2016년	5초	시간, 일, 월	극지연구소

출처: 기상청 기후정보포털(www.climate.go.kr)

- 기상청은 2012년부터 위성을 이용한 온실가스 산출기술 개발 사업 등을 수행하여 온실가스 관측 위성데이터의 실질적 활용방안을 제시해 오고 있음
- 기상청(국립기상과학원)에서는 온실가스 감시를 위한 TCCON 사이트를 활용하여 한반도 저층 대기의 CO₂ 총량 산출을 수행 중임
 - TCCON 전지구 온실가스 전량 농도 지상원격관측망으로 전세계에서 28개의 관측소가 운영 중이며, 온실가스 위성 검증에 위한 자료를 생산함
 - 안면도 TCCON 관측소는 2014년 8월 운영을 시작하여 약 10년 동안 운영 중이며, 원격 관측, 자료 처리, 자료 검증, 자료 제공과 근적외(NIR) 영역의 태양복사에너지 흡수선을 통한 온실기체의 전량 농도를 생산하고 있음

표 2-16 [기상청 온실가스관련 주요 선행연구]

수행기관	주요내용
기상청 (국립기상 과학원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2012 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(I)』 ○ 2013 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(II)』 ○ 2014 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(III)』 ○ 2015 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(IV)』 ○ 2016 『다중위성 CO₂ 합성장 산출 기술 개발(I)』 ○ 2017 『OCO-2 위성 CO₂ 산출 기술 개발(I)』 ○ 2017 『항공·위성·지상FTS 원격 자동 관측 기술 개발』 ○ 2018 『OCO-2 위성 CO₂ 산출 기술 개발(II)』 ○ 2021 『온실가스 입체감시 기법 개발(I)』 ○ 2022 『고도별 온실가스 산출기술 개발(II)』

○ 기상청의 체계적/종합적인 기후변화 감시 플랫폼 구축에서 초소형위성의 역할

- 기상청의 중요한 미션으로서의 ‘2050 탄소중립 이행을 위한 과학적 근거 마련 및 기후위기에 대한 예측’에 정확도 향상이 요구됨
- 이를 위해서는 정지·저궤도·초소형위성의 상호 보완적 활용으로 체계적/종합적인 기후변화 감시 플랫폼을 구축할 필요가 있음
- 국립기상과학원의 온실가스 지상관측시스템은 추후 위성데이터의 검증 및 상호보완의 목적으로 중요성을 가짐

5.2. 외부 상호 연계 및 협력 방안

□ 관 주도의 초소형위성 개발 및 민간 참여 필요성

- CO₂ 모니터링 등을 위한 초소형위성의 경우 활용성이 특정 분야로 한정되므로 관련법(기상법 등)에 의거하여 온실가스 관측 및 분석업무를 수행하고 있으며, 유사기술·경험을 보유하고 있는 조직의 주도적 개발이 적합함
- 위성산업은 최근 크게 중대형위성의 성능·수명 개선 방향과 소형위성의 상업화·양산화의 두 방향으로 발전 중에 있음
 - 정지궤도(GEO) 등에 사용되는 대형위성의 설계·제조·발사는 초대형 장기 프로젝트이므로 산업부, 환경부, 과기정통부 등 주요 부처를 중심으로 진행하되 운영을 일부 민간에게 위탁하여 추가적인 수익원을 발굴하는 형태가 적합
 - 초소형 위성의 개발·개선·운영 역량 확보 및 민간의 지속적인 수익기반 확보를 위해 민간기업이 유지보수에 참여하고 운영하는 방식의 고려가 필요

- 뉴 스페이스(New Space) 도래로 민간의 참여가 증가하고 있으나, 초기 위성개발 리스크, 불확실성 등으로 공공목적의 위성은 관 주도 개발 후 단계적 민간이양 필요
 - 위성개발은 높은 신뢰도가 요구되는 하드웨어를 설계, 해석, 제작, 조립, 시험, 발사, 운영이 필요한 사업이며, 개발과정에서 기술, 예산, 인력 등 투입이 필요한 사업으로 국내 환경이 조성되기 전까지는 공공의 연구개발 과제로 수행할 필요가 있음
 - 공공의 연구개발 과제 수행을 통한 국내 기술수준이 성숙된 후 민간기업에게 초소형 위성개발의 과제를 이양하여 단계적으로 산업화·양산화 체계로 전환 방법이 있음
 - 현재의 산업체 기술수준을 고려할 때, 관 주도의 체계사업을 진행하고, 각 서브시스템의 요소 기술을 보유한 산학연의 공동개발 참여 유도하는 것이 전략적으로 바람직함

□ 타부처의 초소형위성 개발 계획

- 각 부처는 각자의 업무역할에 따른 온실가스 관측을 계획하고 있으며, 지자체는 우주 기술을 융합한 신산업 창출을 위해 초소형위성 개발을 도전적으로 추진하고 있음
 - 최근 환경부는 메탄(CH₄) 감시를 위한 초소형위성 개발사업을 기획 중임. 각 부처간 영역에 따른 선택과 집중(환경부는 배출원 관리, 기상청은 전지구적 기후변화 감시 역할)을 통해 온실가스 감시의 상호협력을 통한 기후변화 대응 및 국가 경쟁력을 강화에 기여 가능
 - 기상청에서 개발하고자 하는 근적외 영역 관측기술은 국내에서 과학기술위성과 차세대 소형위성에서 연구기관에서만 개발을 주도하였던 고난위도 기술임
 - 또한 최근 민간에서도 관련 기업을 중심으로 메탄 탐측용 초소형위성 개발사업에 참여하고자 하는 수요가 있어 핵심 인재육성 및 기술 공유 등의 시너지 효과 창출 가능
 - 부산광역시의 BusanSat과 대전광역시의 DaejeonSat과 같은 지자체에서도 공공 목적의 초소형위성 개발 기획을 추진 중임
 - 이에 따라 유관부처, 지자체간 초소형위성 개발의 효과 극대화 및 협력을 위해서는 개별 고유의 임무를 정의하고, 상호 연계 방안을 위한 협의가 필요함

□ 공공과 민간의 차별화된 위성개발 전략 운영 및 상호 연계·협력 추진

- 온실가스 종류별(CO₂, CH₄ 등) 관측 정밀도, 난이도, 정확도, 개발수준을 고려한 개발전략과 상호 연계 등 협력방안을 도출
 - 이산화탄소의 경우 높은 수준의 근적외 영역의 정확도/정밀도를 요구하므로 공공 주도로 연구개발 및 기술을 확보하고, 단계적으로 민간에 기술이양하는 방안이 적절함
 - 메탄의 경우 이산화탄소 대비 상대적으로 개발 난이도가 낮으므로, 공공(또는 민간 공동개발) 전략으로 추진하고, 데이터 공동 활용 및 기술 피드백 등의 고려가 필요함

- 기상청 주도로 시제품 개발 체계사업 후 단계적 기술이전 및 민간의 양산체계 구현
 - 관 주도(기상청) 초소형위성 개발사업을 추진 시 단계적 체계사업을 통해 시제품의 발사 및 운영을 통해 검증한 후, 민간기업으로 기술이전하는 방안으로 추진
 - 민간에서는 기술이전 받은 초소형위성체 및 탑재체의 정밀도, 정확도 등의 향상을 도모하는 생산체계를 구축하고, 양산된 초소형위성을 다시 공공에 제공하는 역할 수행
- 기상청 고유 임무와 타 미션들과 공동활용 플랫폼 제공 가능성
 - 기존 열적외 CO₂ 탐측 위성들에 의 온·습도 등의 관측자료를 활용하여 중상층 대기의 CO₂ 총량 산출이 가능하고, 국립기상과학원에서 운영 중인 TCCON 사이트를 비롯한 전세계적 TCCON 네트워크를 활용하여 지역적 저층 대기의 CO₂ 총량을 산출함
 - 근적외 센서를 활용하면 위성운영 고도에서 지표면까지 CO₂ 총량 관측이 가능해지므로, 초소형위성 탑재 근적외 센서를 이용하면 기존 근적외/열적외 센서 데이터와 연계하여 CO₂의 전지구적 입체분석이 가능함
 - 초소형위성은 군집/편대 운영을 할 경우, 관측공백을 최소화하며 높은 시간해상도와 높은 공간해상도의 동시 달성이 가능하다는 장점이 있어서, 정지궤도위성의 높은 시간해상도/낮은 공간해상도, 저궤도위성의 높은 시간해상도/낮은 공간해상도의 단점을 해소 할 수 있음
 - 기상청에서 운용 중인 온실가스 지상관측시스템과 더불어, 정지/저궤도/초소형위성의 상호 보완적 활용으로 체계적, 종합적 기후변화 감시 플랫폼 운영이 가능함
 - 기상청의 초소형위성 운용 경험을 통한 타 미션들에게 관측 불확실성을 보완할 수 있는 데이터 제공 가공. 즉, 기상청에서의 초소형위성 개발 및 운영은 다양한 기상현상과 우주기상이 초소형위성의 성공적인 운영에 미치는 영향을 분석할 수 있음
 - ※ (1) 온도, 습도 등 기상현상 정보 제공, (2) 대기의 에어로졸 관련 데이터를 제공하여 관측 신뢰성 증대, (3) 해당 고도 우주기상 정보 제공
 - 타부처 및 지자체 등에서 증가하고 있는 초소형위성의 성공적인 운영을 위해서 운영 고도에서 우주기상이 초소형위성들에 미치는 영향을 기상청에서 제공할 의무가 있음 (우주기상: 기상청 고유의 임무)
- 초소형위성 개발의 표준화 및 규격화에 기여
 - 정부 출연 연구기관의 초소형위성 개발사업은 초소형위성의 표준화, 규격화하는 것임
 - 초분광 광학탑재체를 탑재하는 초소형위성을 표준화, 규격화를 위한 노력으로 초소형 위성 개발 사업과의 향후 연계 가능성이 있음

6. 종합 및 시사점

6.1. 국내의 초소형위성 관련 정책동향 분석

표 2-17 [국내외 초소형위성 관련 정책동향 분석 주요 내용 및 시사점]

구분	주요 내용 및 시사점
국내	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정부는 제4차 우주개발진흥기본계획 등에 초소형위성 개발의 국가 지원 계획을 명시하고 다양한 공공 임무 달성에 활용할 예정 ○ 특히 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)에서 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발에서 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축은 기상청으로 명시하여 사업추진 정당성 확보
해외	<ul style="list-style-type: none"> ○ 뉴 스페이스 시대에 맞춰 국가가 주도하되 민간 참여를 유도하는 방향으로 변화 중 <ul style="list-style-type: none"> - 우주산업 관련 규제를 완화하고 이익을 보장하는 등 방식으로 우주산업의 민간화·상업화를 유도 중 ※ 해외는 민간의 초소형위성개발 준비, 개발역량이 확보되어 있지만, 국내 민간기업의 개발수준은 초기단계에 있어 상호 비교는 불가한 상태임 ○ 소형위성의 높은 활용도와 관련 시장의 성장 잠재력을 고려하여 각국의 정부는 적극적인 생태계 조성 및 서비스의 소비자 역할을 수행 <ul style="list-style-type: none"> - 우주개발 선진국은 소형위성 시장의 높은 잠재력을 확인하고 자국 기업의 성공적인 시장 진출과 시장 점유율 확대를 위해 다양한 산업화 정책 수립

6.2. 국내의 초소형위성 산업 동향 분석

표 2-18 [국내외 초소형위성 관련 산업동향 분석 주요 내용 및 시사점]

구분	주요 내용 및 시사점
국내	<ul style="list-style-type: none"> ○ 큐브위성 시장의 초기 진입장벽이 낮은 장점을 활용하여 최근 정부R&D 지원 및 자체 투자를 통해 다수의 기업이 진출하고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 큐브위성 개발은 그간 대학 인력양성을 위해 정부R&D 중심으로 추진되었으나, 플랫폼 수요 증가와 기업의 참여 확대 기조에 힘입어 독립된 생태계가 형성되고 있음 ○ 그러나 국내의 초소형위성 개발에 뛰어들 기업들은 증가하는 추세이지만, 기술개발 경험과 헤리티지가 해외 주요국에 비해서 부족한 실정임 <ul style="list-style-type: none"> - 높은 기술력을 요구하는 미래 선도기술 확보차원에서 공공기관에서 개발 후, 산업체로 기술이전 등의 전략이 필요한 시점임
해외	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소형위성 대수 급증에 따라 위성제작 및 부품 산업이 크게 성장하고, 부품의 표준화와 상업화는 소형위성 시장 성장의 주요 동력으로 작용 <ul style="list-style-type: none"> - 소형위성은 짧은 수명으로 인하여 위성체 및 부품의 지속적인 공급체계가 필요하며 비용절감을 위한 기술의 표준화와 상업화가 주요 트렌드로 부상 ○ 해외 주요국의 경우, 많은 개발 경험의 축적으로 초소형위성 개발은 많은 부분 민간의 영역으로 이양된 상태임

6.3. 국내의 초소형위성 기술 동향 분석

표 2-19 [국내외 초소형위성 관련 기술동향 분석 주요 내용 및 시사점]

구분	주요 내용 및 시사점
<p style="text-align: center;">국내</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라 최초의 인공위성인 우리별 1호를 시작으로 국내 소형위성은 우주환경 검증과 우주과학을 목적으로 개발이 진행되고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 1992년 KAIST는 영국 서리(Surrey) 대학과의 협업을 통해 우리별 1호를 성공적으로 개발하였고, 이후 KAIST 인공위성연구소가 주축이 되어 소형위성 플랫폼을 확보 ○ 뉴 스페이스 시대의 도래와 함께, 개발비용이 중대형위성 대비 상대적으로 저렴한 이점을 이용하여 산학연 다양한 미션들이 시도되고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 최초의 초소형군집위성인 도요셋(SNIPE)는 2023년 5월 누리호 3차 발사를 통해서 발사되어서, 현재 4기 중 3기가 임무 수행 중 - 초소형위성 개발 및 발사되어 일부 운영중이지만 국내의 초소형위성의 기술개발 수준은 아직 초기단계로서 기술의 고도화, 체계화 및 운영 노하우 습득이 필요함
<p style="text-align: center;">해외</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고비용 고신뢰성 부품을 사용하는 중대형위성과 달리 소형위성은 상대적으로 저비용 저신뢰성의 상용부품을 사용하고 대량 생산을 통해 리스크 저하를 추구 <ul style="list-style-type: none"> - 짧은 운용기간과 고도의 임무가 요구되지 않는 소형위성에는 상대적으로 낮은 신뢰도를 가진 저가 부품이 사용되며 중대형위성과 달리 글로벌 시장 내에서 부품의 거래가 원활 ○ 동일 위성체의 대량 생산이 이루어지면서 군집운용(Satellite Constellation)이 용이해지고 중대형위성의 단점을 보완한 새로운 위성정보 서비스가 가능해짐 <ul style="list-style-type: none"> - 최근의 개발추세에 따라 소형위성 플랫폼의 활용 분야가 다변화되고, 특히, 지구관측, 위성통신, 우주과학 분야에 두드러진 진보가 나타남

6.4. 기상청의 개발 주도 타당성

표 2-20 [기상청의 초소형위성 개발 주도 타당성 관련 주요 내용]

1. 관련법에 명시된 기상청의 고유 업무영역에 부합
<ul style="list-style-type: none"> ○ 탄소중립기본법 및 동법 시행령에서 기후감시, 기후변화 조사, 대기 중의 온실가스 농도 변화 상시 측정·조사 등을 기상청의 고유 업무영역으로 규정하고 있음 ○ 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률 제정(안)을 통해 기상청이 탄소중립기본법에 따른 기후 위기에 대한 감시 및 예측 총괄·지원 기관으로서 탄소중립을 지원하기 위한 체계적인 근거를 마련

2. 중앙정부 계획에서의 주관부처로 명시

- 중앙정부 계획인 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)의 경우 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발의 주관부처로 기상청을 명시하고 있음
 - 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발에서 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축은 기상청으로 지정되어 있음

3. 기상청의 온실가스 감시의 경험·노하우 및 임무의 연속성

- 기상청은 1987년부터 기후변화의 요인이 되는 물질들의 농도 변화를 파악하기 위해 배경 대기 관측을 수행하고 있음
 - 1992년부터 세계기상기구(WMO)의 지구대기감시(GAW: Global Atmosphere Watch) 사업에 본격적으로 참여하여 배경대기, 온실가스, 오존 관측을 수행하고 있음
- 기상청은 2012년부터 위성을 이용한 온실가스 산출기술 개발 사업 등을 수행하여 온실가스 관측 위성데이터의 실질적 활용방안을 제시해 오고 있음
- 기상청(국립기상과학원)에서는 온실가스 감시를 위한 지상관측망(TCCON 사이트)을 활용하여 한반도 저층 대기의 CO₂ 총량 산출을 수행 중임
- 지상관측망을 활용한 온실가스 감시와 초소형위성을 통한 이산화탄소 관측으로 한반도 및 동아시아 상공의 입체적인 관측데이터 확보, 검증 및 능동적인 기후변화 대응역량 확보 기대

III. 온실가스 초소형위성 개발을 위한 사용자 요구사항 분석

1. 온실가스 감시 위성 개발 현황
2. 온실가스 감시에 필요한 과학 요구사항 분석
3. 온실가스 감시 초소형기상위성 개발 가능성 검토
4. 종합 및 시사점

Ⅲ. 온실가스 초소형위성 개발을 위한 사용자 요구사항 분석

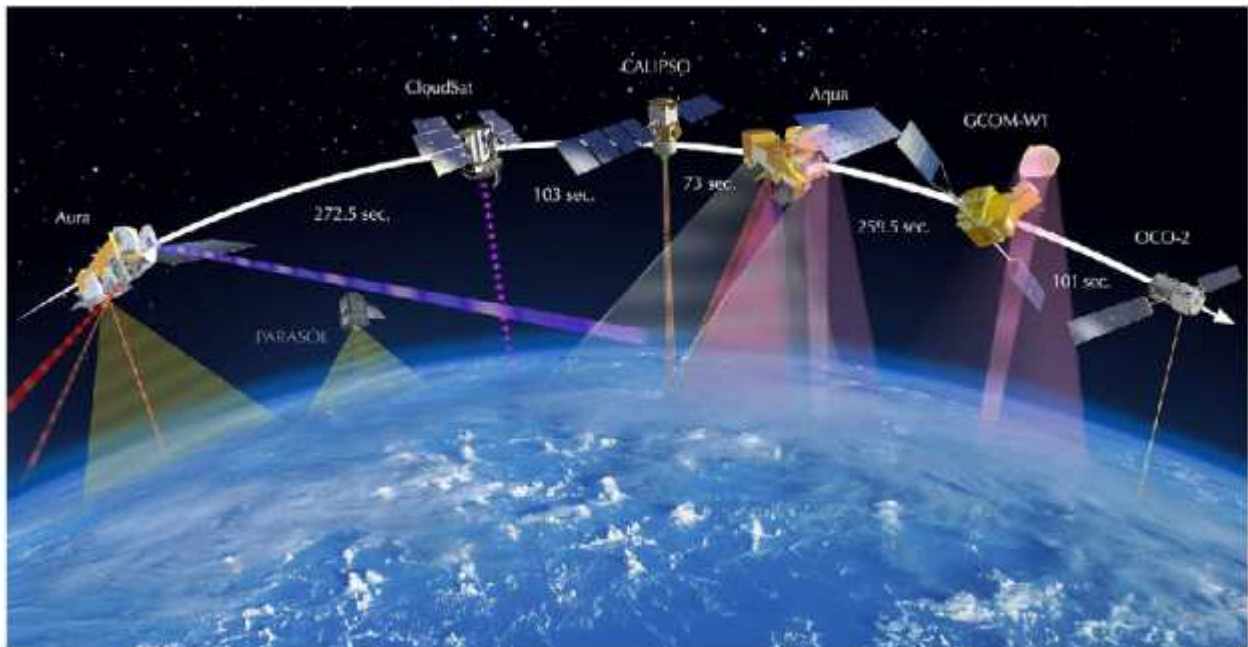
1. 온실가스 감시 위성 개발 현황

1.1. 총괄

- 온실가스를 관측하기 위한 최초의 초분광 적외센서는 1996년 8월에 발사된 일본 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 ADEOS/IMG가 있었으나 짧은 운영 기간으로 인해 활용이 제한되었음
- 2002년 5월에 발사된 유럽 ESA의 Envisat 위성에는 초분광 분광계인 SCIAMACHY가 탑재되어 있음
 - SCIAMACHY는 8개 밴드로 구성되어 있으며, 0.214~2.386 μm 영역에 대하여 0.22~1.48nm 간격으로 8192개 채널을 관측하고 있으며, 공간해상도는 30~60km임
- 일본 JAXA, 환경부(MOE, Ministry of the Environment), 국립환경연구소(NIES, National Institute for Environmental Studies)가 공동으로 대기 중 이산화탄소를 관측하는 GOSAT 위성을 개발하여 2009년 1월 23일 발사했으며, 후속 위성인 GOSAT-2를 2018년 10월 29일 발사하였음
 - GOSAT은 TANSO-FTS(Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation -Fourier Transform Spectrometer)를 탑재하고 있음
 - TANSO-FTS는 대기와 지면에서 방출되는 적외선이 온실가스에 의해 흡수되어 방출되는 양을 탐지하고, TANSO-CAI(Cloud and Aerosol Imager, 구름-에어로솔 센서)를 장착하여 온실가스 측정의 불확도를 감소시킬 수 있음
 - TANSO-FTS는 4개 밴드로 구성된 간섭계로 5.55~14.28 μm , 1.92~2.08 μm , 1.56~1.72 μm , 0.757~0.775 μm 구간에 대하여 0.2cm⁻¹ 간격으로 12004개 채널을 관측하며 공간해상도는 10.5km임
 - TANSO-FTS2는 8.4~14.3 μm , 5.6~8.4 μm , 1.92~2.38 μm , 1.56~1.69 μm , 0.753~0.772 μm 구간에 대하여 0.2cm⁻¹ 간격으로 14605개 채널을 관측하며 공간해상도는 10.5 km임
- 2024년 발사 예정인 GOSAT-GW 위성에는 TANSO-FTS2와 TANSO-CAI2가 통합된 TANSO-3가 탑재될 예정임
- 미국 NASA는 2009년 2월에 대기 중 이산화탄소 농도 측정을 위한 OCO(Orbiting Carbon Observatory) 위성을 발사하였으나 실패하였고, 이후 2014년 7월에 OCO-2 위성을 성공적으로 발사하였음
 - 적도를 대략 정오 즈음에 지나는 지구관측 위성들로 이루어진 A-train 군집(Aqua, CloudSat, CALIPSO, Glory, PARASOL, Aura, OCO-2)에 포함되어 다양한 위성 관측 정보의 통합적 활용성을 극대화

- OCO-2는 근적외 영역의 초분광 분광계(grating spectrometer)로 0.758~0.772 μm , 1.594~1.619 μm , 2.042~2.082 μm 영역에 대해서 0.04nm, 0.08nm, 0.10nm 간격으로 3072개 채널을 관측하며, 공간해상도는 1.29~2.55km임
- 근적외선 구간 0.765, 1.61, 2.06 μm 에서 방출되는 에너지를 관측하여 대기 중 이산화탄소를 탐지하고, 온실가스 지상검증 네트워크 (TCCON, Total Carbon Observing Network)를 통해 위성 관측량 검증을 수행함
- 2019년 5월에는 국제우주정거장(ISS)에도 OCO 센서가 탑재되었음

그림 3-1 [NASA A-train Constellation]



출처: NASA Jet Propulsion Laboratory

- 2016년 12월에 발사된 중국의 TANSAT 위성에는 ACGS(Atmospheric Carbon dioxide Grating Spectrometer) 센서가 탑재되었음
 - ACGS는 OCO와 같이 초분광 분광계 방식으로 0.758~0.776 μm , 1.594~1.624 μm , 2.041~2.081 μm 영역에 대해서 0.044nm, 0.125nm, 0.165nm 간격으로 2048개 채널을 관측하며, 공간해상도는 2~3 km임
- Sentinel 5P/TROPOMI, FY-4D/GAS, Gao-Fen-5/GMI, MicroCarb, FY-3H/GAS2, GEOCARB 등의 위성들이 온실가스 관측을 목적으로 발사되었거나 개발 중에 있음
 - GEOCARB는 미국 NASA에서 2025년 발사를 목표로 추진 중인 정지궤도 기반의 초분광적외 위성임
- 전체적으로 대기 온도 및 습도 관측을 위한 초분광적외 탐측기는 간섭계가 주류를 이루는 반면, 온실가스 관측 위성 센서들은 분광계가 주류를 이루고 있음

그림 3-2 [온실가스 감시 위성들 현황]

Satellite, Instrument	Agency/Origin	CO ₂	CH ₄	Public	Private	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
GOSAT TANSO-FTS	JAXA-NIES-MOE/Japan	●	●	●		■	■	■							
OCO-2	NASA/USA	●		●		■	■	■							
GHGSat-D - Claire	GHGSat/Canada		●		●	■									
Sentinel 5P TROPOMI	ESA/Europe		●	●		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
GaoFen-5 GMI	CHEOS/China	●	●	●		■									
GOSAT-2 TANSO-FTS-2	JAXA-NIES-MOE/Japan	●	●	●		■	■	■							
OCO-3	NASA/USA	●				■	■	■							
GHGSat C1/C2 - Iris, Hugo	GHGSat/Canada		●		●	■	■	■							
MetOp Sentinel-5 series	EC Copernicus/Europe		●	●		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MethaneSAT	EDF/USA		●		●		■	■							
MicroCarb	CNES/France	●		●			■	■	■	■	■	■	■	■	■
Feng Yun 3G (CMA)	CMA-NMSC/China	●	●	●			■	■	■	■	■	■	■	■	■
Carbon Mapper ¹	Carbon Mapper LLC/USA	●	●	●	●			■	■	■	■	■	■	■	■
GeoCarb	NASA/USA	●	●	●				■	■	■	■	■	■	■	■
GOSAT-GW	JAXA-NIES-MOE/Japan	●	●	●				■	■	■	■	■	■	■	■
MERLIN	DLR/Germany-CNES/France		●	●				■	■	■	■	■	■	■	■
CO2M	EC Copernicus/Europe	●	●	●				■	■	■	■	■	■	■	■

■ CO₂+CH₄ ■ CO₂ Only ■ CH₄ Only
■ Extended Mission ■ Planned ■ Phased Deployment

출처: SpaceNews, CEOS

표 3-1 [해외 주요국 온실가스 관측위성 현황]

구분	GOSAT-2(일본)	OCO-2(미국)	SENTINEL-5P(유럽)
			
발사일	October 29, 2018	July 2, 2014	October 13, 2017
중량	1,800 kg	454 kg	820 kg
궤도	태양동기궤도	태양동기궤도	태양동기궤도-
탑재체	TANSO-FTS, TANSO-CAI-2	High-resolution nadir scanning SW spectrometer	TROPOMI
관측 온실가스	CO, CO ₂ , CH ₄	CO ₂ , O ₂	O ₃ , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
시·공간 해상도	10.5km, 3 days	1.29km×2.25m, 18 days	7km, 1 day
스펙트럼 범위	0.755~14.29μm, 0.333~1.675μm	0.765, 1.61, 2.06 μm	0.27~0.5, 0.675~0.775, 2.305~2.385 μm
데이터 제공처	GOSAT Data Archive Service (GDAS)	GES DISC	ESA Copernicus Open Access Hub

출처: 오지현(2022), 파리협정 이행 지원을 위한 온실가스 관측 위성의 개발 동향 및 시사점

1.2. 온실가스 감시 위성 탐측기 개발 현황

- 정지궤도에서 운영되는 중대형급 위성에서 소형위성 또는 초소형위성급으로 개발이 확대되는 추세임
 - 복잡한 분광 광학계를 탑재해야 하기 때문에 200kg 이하 마이크로급 초소형위성으로 개발도 시도되고 있음(예: 프랑스/CNES MicroCarb)
- 온실가스의 대부분을 이루는 이산화탄소와 메탄을 모두 관측하거나 이산화탄소나 메탄 중 한 가지만 관측하는 센서로 개발되는 추세임
 - 정확한 농도 산출이 비교적 쉬운 메탄 모니터링의 경우 초소형위성으로 개발이 시도되고 있음(예: GHGSat)
 - 이산화탄소 모니터링의 경우 정확한 농도 산출을 위해 높은 분광분해능(spectral resolution)과 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)를 달성하기 위해서 정밀한 분광계를 탑재해야 하기 때문에 위성을 소형화시키기가 다소 어려움이 존재함
- 이산화탄소의 전지구적 감시 또는 배경감시를 위해서 수십 km의 낮은 공간해상도(작은 nadir pixel size)와 높은 시간해상도(temporal resolution)를 추구하는 추세임
 - 최근 기상청(국립기상과학원)의 TCCON 연구에 의하면, 이산화탄소의 농도 변화가 2ppm/yr임
 - 이산화탄소의 시공간적 변화 추이를 모니터링하기 위해서는 관측오차 1ppm 이하의 높은 수준의 탐측기가 요구되고 있음

그림 3-3 [온실가스 초분광 탐측기 사양 동향]

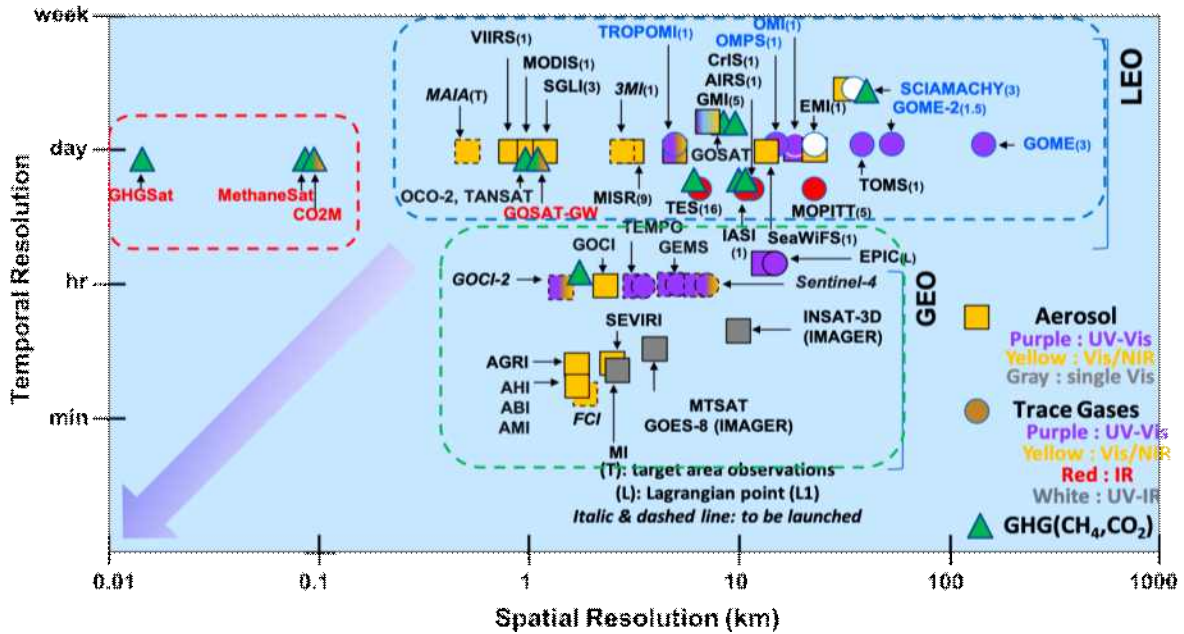
Satellite /Instrument (기관/국가)	Weight [kg] (Satellite/Payload)	Instrument Type	Data Period	Nadir Pixel Size	Retrieval Band [μm]	Spectral Resolution	Product	1-σ Accuracy (Goal)
OCO-2/3 (NASA/미국)	460 / 150	Grating Spectrometer	2014 ~ / 2019 ~	1.3 × 2.2 km 4.5 × 4.5 km	0.76 (O ₂) 1.61 (CO ₂ weak) 2.06 (CO ₂ strong)	0.0805 nm (CO ₂ weak) 0.103 nm (CO ₂ strong)	O ₂ , CO ₂	1ppm
GOSAT-2 /TANSO-FTS-2 (JAXA/일본)	1,700 / 329	Interferometer	2018 ~	15.8 mrad (-9.7 km)	1.67, 2.3 (CH ₄) 1.6, 2.08 (CO ₂)	0.2 cm ⁻¹	CO ₂ , CH ₄	4ppm
TANSAT/ACGS (NSMC/중국)	600 / 180	Grating Spectrometer	2016 ~	2 × 3 km	0.76-0.77 (O ₂) 1.59-1.62 (CO ₂ weak) 1.64-1.66 (CH ₄) 2.04-2.08 (CO ₂ strong)	R-19,000 (0.76-0.77 μm) R-12,800 (1.59-1.62 μm) R-12,250 (2.04-2.08 μm)	O ₂ , CO ₂ , CH ₄	4ppm
FY-3H/GAS-2 (NSMC/중국)	2,300 / -	Grating Spectrometer	2024 ~ 2029	3 × 3 km	0.75-0.77 μm 1.56-1.72 μm 1.92-2.08 μm 2.20-2.38 μm	0.04nm (0.75-0.77 μm) 0.07nm (1.56-1.72 μm) 0.09nm (1.92-2.08 μm) 0.10nm (2.20-2.38 μm)	CO ₂ , CH ₄ , CO, N ₂ O	SNR > 300
CO2M/CO2I (ESA/유럽)	1,500 / -	Grating Spectrometer	2025 ~ 2034	4 × 4 km	VIS 0.4-0.5 NIR 0.75-1.3 SWIR 1.3-3.0	-	CO ₂	< 0.7ppm SNR > 200
MicroCarb (UKSA, CNES /영국, 프랑스)	190 / 70	Echelle Grating Spectrometer	2025 ~ 2029	4.5 × 9 km	B1 0.76 (O ₂) B2 1.6 (CO ₂) B3 2.0 (CO ₂) B4 1.3 (O ₂)	R-25,000 (0.76-0.77 μm) R-25,000 (1.26-1.28 μm) R-25,000 (1.59-1.62 μm) R-25,000 (2.02-2.05 μm)	O ₂ , CO ₂	1ppm SNR ~ 200-400
GHGSat-D	15 / 5.4	Fabry-Perot Imaging Spectrometer	2016 ~	25 × 25 m	1.65	0.3 nm	CH ₄	SNR ~ 200
TANGO (TNO, 네덜란드)	16U	Grating Spectrometer	2024 ~ 2027	0.3 × 0.3 km	Sat1: 1.6 (CH ₄) Sat2: (NO ₂)	0.6 nm	CO ₂ , CH ₄ , NO ₂	
MenzSat /Argus20002 (KUST, AURAK, UAE-SA)	3 /	Grating Spectrometer		1.5 × 1.5 km	1.25 (O ₂) 1.57, 1.61, 2.05 (CO ₂) 0.9, 1.2 (H ₂ O)	6nm		
TROPOMI		Grating Spectrometer	2017 ~	5.5 × 7 km	2.3	0.25 nm	CH ₄	1ppm
PRISMA		Prism Spectrometer	2019 ~	30 × 30 m	2.3	10 nm	CH ₄	
MethaneSAT		Imaging Spectrometer	2023 ~	100 × 400 m	1.6	0.24 nm	CO ₂ , CH ₄	

중형/대형 소형/초소형

○ 관측오차 1ppm 이하의 정확한 이산화탄소 농도 산출을 위한 높은 분광해상도와 높은 신호대잡음비가 요구됨

- 충분한 광량을 확보하기 위해서 광학계의 구경을 크게 해야 하고, 충분한 노출 시간을 확보하기 위해서 위성의 정밀한 자세제어가 필수적임

그림 3-4 [대기관측용 위성 센서의 시공간 해상도 개발 경향*]



출처: Kim et al, AMS 2020

* 최근 개발되고 있는 온실가스 감시 위성들은 신호대잡음비를 높이기 위해서 검출기 픽셀의 공간해상도(nadir pixel size)를 수 또는 수십 km 정도로 낮게 가져가고 있는 추세임

○ 관측정확도 1ppm 이하와 직접적인 관련이 있는 높은 분광분해능과 신호대 잡음비의 달성을 위한 기술적 요소들이 초소형위성 또는 소형위성으로 개발할 때 가장 도전적인 과제로 판단됨

- 초소형위성은 제한된 전력으로 인하여 위성 전체의 복잡한 자세제어가 부담이기 때문에 해외에서는 고속스캔거울(fast scanning mirror)를 채용하는 개발 사례도 있음
- 전지구적 광역감시를 위해서 군집위성 운영도 고려되고 있음

1.3. 온실가스 산출 알고리즘 개발

□ 위성자료와 산출 알고리즘 개발

○ 2002년대부터 높은 분광분해능의 근적외 및 적외 탐측기를 탑재한 위성이 발사됨에 따라 전지구 온실가스의 농도의 분포를 파악하기 위한 연구가 활발히 수행되기 시작하였음

- 2000년 이전 위성들의 적외 센서들은 대류권 중-상층에서의 온실가스를 감시하는 위성이었다면, 2009년 발사된 GOSAT 위성은 대류권 하층에서의 온실가스를 감시하고 있어 이와 관련한 연구들이 활발히 진행되었음
- GOSAT 위성자료를 이용하여 많은 연구가 이루어지고 있으나, 그 자료의 정확도를 살펴보면, 다른 위성자료 및 탄소감시시스템 자료에 비해 10ppm 이상의 차이가 나타나 매우 낮다고 할 수 있음
 - 물 분자에 의한 적외선 영역의 간섭효과 때문에 구름이 존재하는 모든 픽셀을 복원작업결국 전체 관측 자료의 10%에도 못 미치는 자료만이 복원되고 있어 현재 월평균 자료의 공간적 관측 범위가 상당히 제한적임
 - 특히 동아시아 지역의 경우 산출된 자료라 할지라도 에어로졸이 크게 나타남에 따라 관측 오차의 발생 가능성이 있어 탐측기의 정확도 및 알고리즘 개선이 요구되고 있음
- 대부분의 에어로졸은 음의 복사강제력을 행사하는 반면, 부분적으로 흡수하는 에어로졸(black carbon or brown carbon, BC)은 직접적인 양의 대기상한 복사강제력을 행사함
 - 에어로졸의 간접적인 효과로 에어로졸이 미세 물리적 특성을 변화시켜 이로 인해 복사 특성 및 구름양과 존속기간을 변화시킴
 - 또한 에어로졸에 따른 복사강제력은 그 종류에 따라 지구 온난화와 냉각의 서로 다른 효과를 가짐
- 이 중 탄소계 에어로졸인 BC는 온난화에 기여하는 양의 복사강제력을 가지며 다른 에어로졸과 달리 지구 온난화를 주도하는 에어로졸로 CO₂와 함께 중요시 되고 있음
 - 눈, 얼음 혹은 구름과 같은 반사도가 큰 표면 위의 대기에서 BC의 존재는 아주 큰 양의 복사강제력을 초래할 수도 있음
- 기후변화를 유발하는 온실기체 중 CO₂와 탄소계 에어로졸은 다른 지구온난화 유발 물질에 비해 가장 높은 복사강제력을 나타내고 있으므로 정확한 산출 알고리즘의 개발이 활발히 진행되고 있음

□ 기상청의 산출 알고리즘 개발 노력

- 기상청은 2012년부터 온실가스 산출기술 개발 사업 등을 지속적으로 수행하며 관측 위성자료의 실질적 활용방안을 제시해 오고 있음
 - 2012년부터 2015년까지 『GOSAT 위성을 이용한 온실가스 전구 온실가스 산출기술 개발』을 통하여 GOSAT-FTS 전지구 CO₂ 산출 알고리즘 분석 및 민감도시험,

GOSAT-CAI 탄소계 에어로졸 산출 알고리즘 분석 및 민감도시험, GOSAT CO₂ 산출물 특성 평가 및 정확도 평가, GOSAT FTS 전지구 이산화탄소 산출 알고리즘 설계 등의 기술 개발을 수행하였음

- 2017년부터 2018년까지는 『OCO-2 위성 CO₂ 산출기술 개발』을 수행하였고, CO₂ 산출 알고리즘 개발을 통한 산출 기술력 및 정확도를 향상하였고, TCCON 관측 자료 및 현업 위성 산출물과의 비교 검증을 통해 주요 대륙 지상 FTS CO₂ 농도와 비교 검증을 통한 정확도 평가 및 타 기관 위성 CO₂ 농도와 비교 및 장 단점 분석의 성과를 달성하였음
- 이외에도 최근에는 『온실가스 입체감시 기법 개발』, 『고도별 온실가스 산출 기술 개발』 등의 사업들도 수행하였음

표 3-2 [기상청의 위성관련 주요 선행연구]

수행기관	주요내용
기상청 (국립기상 과학원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2012 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(I)』 ○ 2013 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(II)』 ○ 2014 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(III)』 ○ 2015 『GOSAT 위성을 이용한 전구 온실가스 산출기술 개발(IV)』 ○ 2016 『다중위성 CO₂ 합성장 산출 기술 개발(I)』 ○ 2017 『OCO-2 위성 CO₂ 산출 기술 개발(I)』 ○ 2017 『항공·위성·지상·FTS 원격 자동 관측 기술 개발』 ○ 2018 『OCO-2 위성 CO₂ 산출 기술 개발(II)』 ○ 2021 『온실가스 입체감시 기법 개발(I)』 ○ 2022 『고도별 온실가스 산출기술 개발(II)』

- 이와 같은 기상청의 선행된 온실가스 산출 기술 개발의 노력으로 인한 경험 및 노하우는 이미 배포된 위성 관측자료의 활용은 물론, 향후 국내에서 개발될 기상위성 개발 및 자료처리/활용에 매우 중요한 밑바탕이 될 것으로 예상됨

2. 온실가스 감시에 필요한 과학 요구사항 분석

2.1. 사용자 요구사항 분석

- 본 보고서에서의 사용자는 위성 데이터를 이용해서 온실가스 농도를 산출하는 대기 과학 전문가를 의미함
 - 사용자 요구사항은 기상청 국립기상과학원에서 운영 중인 지상 관측시스템, GOSAT 및 OCO-2의 위성 자료를 이용한 온실가스 산출 알고리즘 개발 등을 통해 분석 및 도출되었음
- 2009년부터 2021년까지 국립기상과학원이 온실가스 감시를 위한 TCCON 사이트에서 관측한 이산화탄소의 농도는 대체적으로 계절에 따른 증가 경향과 주기적인 변동성을 보임
 - GOSAT, OCO-2 위성자료에 의한 농도 산출 결과와 비교했을 때 수십 ppm의 차이가 발생함
 - 온실가스의 시간 변동성이 국제적 관측정확도 요구사항도 수 ppmv의 정확도 요구함
 - 세계기상기구 WMO Recommendation(Report #255)는 XCO₂(Goal/Threshold)를 Random (1/3ppmv) 와 Systematic(0.2/0.5ppmv)를 요구하고 있음
- 온실가스 산출 알고리즘 검토 결과 및 해외 위성의 요구 정확도는 다음과 같음
 - 중대형위성인 GOSAT/GOSAT-2와 OCO-2/OCO-3는 각각 1.16ppmv, 0.91ppmv이며, 프랑스에서 개발 중인 소형위성급 MicroCarb는 1ppmv을 목표로 삼고 있음
 - 온실가스 산출 알고리즘 개발 과정에서도 에어로졸 등에 의한 영향 등으로 인하여 위성의 전체 관측 자료 중 신뢰성 있는 자료는 10% 이었음
 - 결론적으로 수 ppm의 정확도가 확보되어야 정확한 이산화탄소 농도가 산출이 가능하였음
- 수 ppm 수준의 이산화탄소 농도 정확도를 달성하기 위해서는 위성에 탑재된 초분광 센서의 분광분해능이 $R \sim 20,000$, 신호대잡음비 SNR ~ 200 정도가 되어야 가능함
 - 이 요구사항이 초분광 센서의 사양 결정에 가장 큰 영향을 미치는 요구사항임

2.2. 복사전달모델을 이용한 온실가스 감시 위성관측 모의 시험

□ 모의 시험의 출처 및 근거

- 다음에 기술된 모의시험 출처는 현재 수행 중인 『위성기반 탐측기 센서특성분석 및 영향도 평가연구(기상청, 2023년)』의 예비 결과에 일부 근거함

□ 위성관측 모의 시험을 위한 초기 변수

- 온실가스 정보를 산출하기 위하여 근적외 파장대역에서 발생하는 산란 및 흡수 과정을 모의할 수 있는 복사전달모델(VLIDORT)을 이용해 O₂-A(758-775nm), Weak CO₂(1.56-1.72 μm), Strong CO₂(1.92-2.08 μm) 흡수선의 위성관측 스펙트럼을 모의함
- 스펙트럼 모의과정에서 레일리(Rayleigh) 산란, 기체의 흡수, 지표 반사도(Lambertian reflector로 가정)가 고려되었으며, 대기의 기온, 기압, 미량기체(총 22종; HITRAN 2012 기준으로 H₂O, CO₂, O₃, N₂O, CO, CH₄, O₂, NO, SO₂, NO₂, NH₃, HNO₃, OH, HF, HCL, HBR, HI, CLO, H₂CO, HOCL, N₂), 연직구조는 US76 표준대기를 가정하였음
- 모의된 복사 강도는 Solar irradiance(F)에 대한 normalized radiance(I/F)를 의미함
- 위성의 운용고도를 500km로 가정하였을 때, 위성의 속도 약 7.6km/s를 초기값으로 설정함
 - 이 위성의 속도에서 광학계를 일정 노출시간으로 지향관측(target observation)했을 때의 천정각도(viewing zenith angle, θ Zenith)를 모의 시험에 사용함
- 분광계의 슬릿 함수는 가우시안(Gaussian)으로 가정함
- 초분광 탑재체에서 가장 민감하다고 판단되는 분광분해능(R)과 신호대잡음비(SNR)에 따른 관측 스펙트럼과 총량 산출 오차의 민감도를 분석함
- 위성 관측 스펙트럼의 관측 정확도는 2%를 가정함

표 3-3 [모의 시험을 위한 초기 변수]

Parameter	Value	Remark
Free Spectral Range (FSR)	O ₂ -A: 758-775 nm Weak CO ₂ : 1.56-1.72 μm Strong CO ₂ : 1.92-2.08 μm	Grating Spectrometer
Spectral Resolution (R= $\lambda/\Delta\lambda$)	$\Delta\lambda \sim 0.1\text{nm FWHM (@}2\mu\text{m)}$	Assuming Gaussian Slit Function
Spectral Sampling	0.03 nm	Sampling: 3 pixels
Geometry Information (Viewing Zenith Angle)	-2.2 deg < θ_{zenith} < +2.2 deg	500km altitude Orbital Speed ~ 7.6km/sec
Signal-to-Noise Ratio (SNR)	50 < SNR < 200	-
Measurement Noise Level	< 2%	Assuming typical value

□ 각 미량기체의 흡수영역 및 간섭 기체의 영향 확인

- 모든 밴드에 대해서 동일한 분광해상도 적용 (FWHM = 0.1nm)
- 각 밴드별 미량 기체에 의한 증별 투과함수를 계산함
 - 파장영역에서 각 기체의 영향과 간섭 정도를 파악하여 최적 파장대를 선정
- O₂-A 밴드에서는 759-770nm 범위에서 산소(O₂)에 의한 강한 흡수가 나타나며, 넓은 파장에 걸쳐 수증기(H₂O) 흡수와 Wulf band의 오존(O₃) 흡수가 나타남
- Weak CO₂ 밴드에서는 이산화탄소에 의한 3개의 흡수 영역이 존재하며, 일산화탄소(CO)와 H₂O의 간섭을 가장 적게 받는 파장대는 1590-1630nm 범위임
 - 온실가스 메탄(CH₄)를 향후 산출대상으로 둔다면 1720nm까지 확장할 가능성도 있음
- Strong CO₂ 밴드에서는 이산화탄소에 의한 3개의 흡수 영역이 존재하며, H₂O와 CH₄의 간섭을 가장 적게 받는 파장대는 1990-2080nm 범위임
 - 온실가스 메탄(CH₄)를 향후 산출대상으로 둔다면 1920nm까지 확장할 가능성도 있음

□ 분광분해능 변화에 따른 민감도 테스트

- 3가지 종류의 분광분해능을 설정함
 - 모든 밴드에 대해서 동일한 높은 분광해상도 적용 (FWHM=0.1nm)
 - 회절격자 방식인 OCO-2의 분광해상도 적용 (파장에 따라 가변적인 FWHM)
 - 모든 밴드에 대해서 동일한 낮은 분광해상도 적용 (FWHM=0.2nm)
- FWHM=0.1nm (0.03nm sampling)은 OCO-2의 분광계 성능과 유사하기 때문에 Strong CO₂ 밴드에서 거의 유사함
- 낮은 분광해상도 (FWHM=0.2nm)가 되면, Weak CO₂ 밴드에서는 OCO-2 성능 대비 복사 강도가 절반으로 감소하며, CO₂ 흡수선의 양상이 달라짐

□ SNR 변화와 CO₂ 농도 변화에 따른 민감도 테스트

- 3가지 SNR(50, 200, 300)에 따른 스펙트럼의 노이즈 정도를 분석함
- 모든 파장에 동일한 SNR을 적용함을 가정
- 대기 CO₂ 농도를 (3, 30, 60, 90, 120ppm) 증가하며 스펙트럼 변화를 분석
- SNR이 50일 경우에는 노이즈의 변화폭이 ±0.001로 매우 큼
- CO₂의 농도가 약 3ppm 변화한다고 가정할 때, 복사강도의 변화폭이 0.0001 수준이므로, SNR은 최소 200 이상이 요구됨

그림 3-5 [SNR 변화에 따른 복사 스펙트럼 변동 - 노이즈가 없는 스펙트럼에 대한 차이]

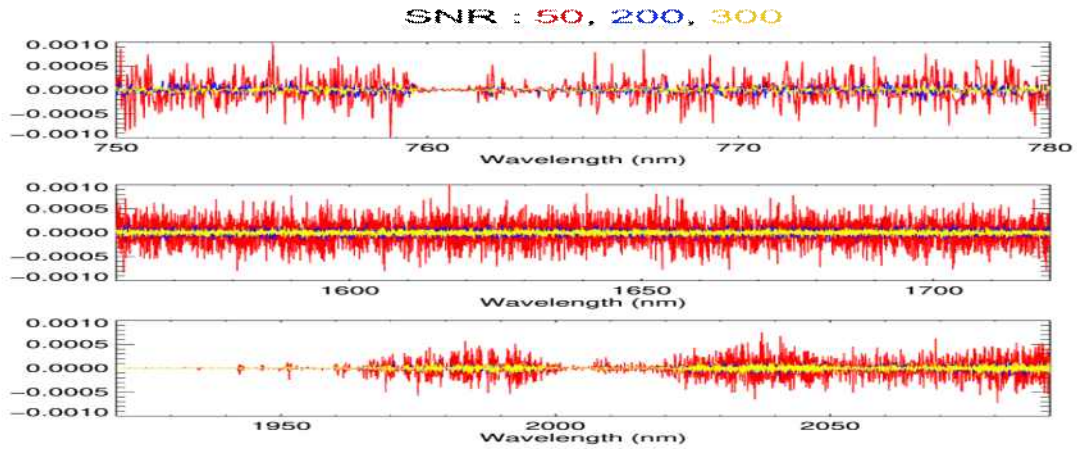


그림 3-6 [평균 CO₂ 농도 증가에 따른 스펙트럼 변화]

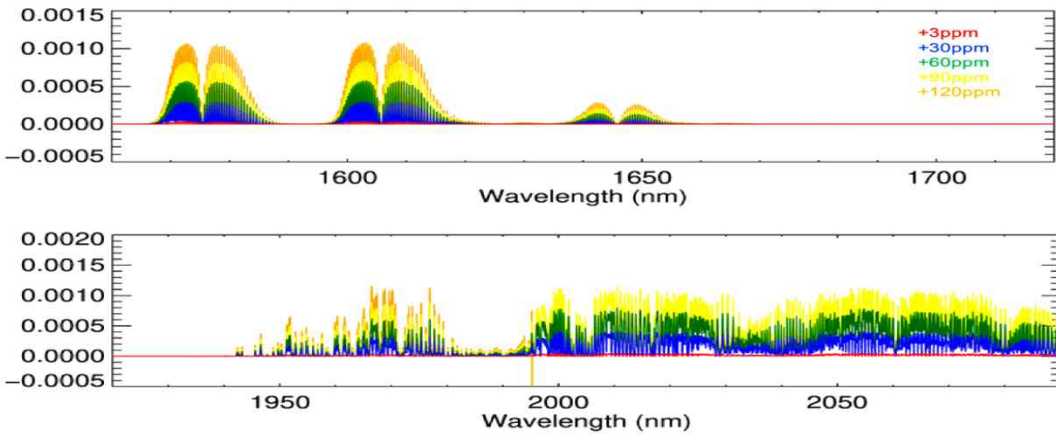


표 3-4 [초분광 탑재체 사양의 도출]

Parameter	Value
Orbital Altitude [km]	500
Pixel Size [μm]	15
Array Numbers (Spatial Direction)	560
Array Numbers (Spectral Direction)	512
D_{TEL} [mm]	80
FNO_{TEL}	7
IR Surface Brightness (@ $3.0\mu\text{m}$) [$\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{sr}$]	3.97
Wavelength [μm]	1-3
Spectral Resolution (R)	20,000
Throughput (QE x Transmittance)	0.68
Exposure Time [sec]	5
SNR	221
Blaze Angle (θ_b) [deg] (at Littrow)	40.53741021
Reference Order (m)	1

2.3. 초소형위성 기본 사양 도출

2.3.1. 초분광 타입

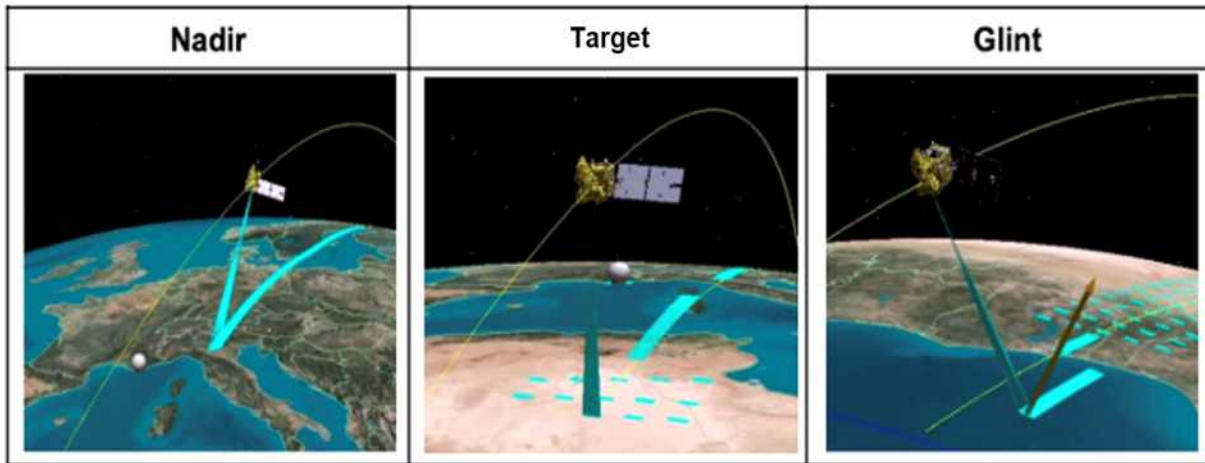
- GOSAT 위성이나 국립기상과학원 안면도 사이트에는 푸리에 변환 간섭계(Fourier Transform Interferometer, FTS)가 설치 운용되고 있음
- OCO-2 위성을 물론 최근 시도되고 있는 많은 온실가스 감시 초분광 위성 센서들은 회절격자(diffraction grating)를 이용한 분광기(grating spectrometer) 타입으로 개발되고 있음
- 초분광 타입의 선택시 고려 사항
 - 간섭계 타입은 광경로차(optical path difference, OPD)를 정밀하게 조정하여 높은 분광분해능을 얻을 수 있다는 장점이 있음. 하지만, 위성용으로 사용될 경우 오작동 시 전체 임무에 큰 영향을 줄 수 있어 움직이는 모듈이나 부품을 사용하지 않는 경향이 있음. 즉, 광경로차를 조정하기 위해서 반사거울을 정밀하게 움직여야 하는 위험 부담이 큰 측면이 있음
 - 분광기의 경우 초점면만 운용 환경에 맞게 정확히 조립·정렬하면 추후 별도로 조정해야하는 무빙 파트가 없기 때문에, 저예산으로 개발이 시도되는 초소형위성 또는 소형위성용으로 높은 이점이 있음
 - 분광방식을 결정함에 있어서, 성능 대비 데이터 처리의 난이도를 고려할 필요 있음. 간섭계의 경우 좁은 영역의 이산화탄소 검출에는 유리하나 넓은 영역의 촬영 시 가시광 영상촬영이 필수적으로 요구는 단점이 존재함
 - 위성용으로는 분광기 타입이 더 유리할 것으로 판단됨

2.3.2. 운영 모드 (operation mode)

- 온실가스 감시 위성의 운영 모드는 크게 Nadir Mode, Target Mode, Glint Mode의 3가지로 구분될 수 있음
- Nadir Mode는 탑재체가 위성의 ground track에 대해 수직으로 내려다보면서 관측하는 모드로서 가장 간단한 운영 모드임
 - 어두운 지역을 관측할 경우 충분한 노출 시간의 확보가 어려운 단점이 있음
- Target Mode는 지상의 한 지점을 지향하면서 관측하는 모드이며, 위성의 자세를 지속적으로 변화시키면서 한 지역을 충분한 노출시간으로 관측할 수 있어서 충분한 신호대잡음비 확보가 가능한 장점이 있음
 - 자세제어에 소모되는 전력이 만만치 않아서, 전력이 제한적인 초소형위성에는 도전적인 요소가 될 수 있음

- Glint Mode는 태양빛의 반사가 가장 강한 지점(glint spot)으로 탑재체가 향하게 하는 관측 모드이며, 어두운 해상 위에서 강한 태양빛의 반사를 이용하므로 높은 신호대잡음비를 확보할 수 있음
- 천장 각도(zenith angle)가 커서 많은 대기 기둥을 통과해야 해서 에어로졸의 영향을 더 많이 받을 가능성이 있음

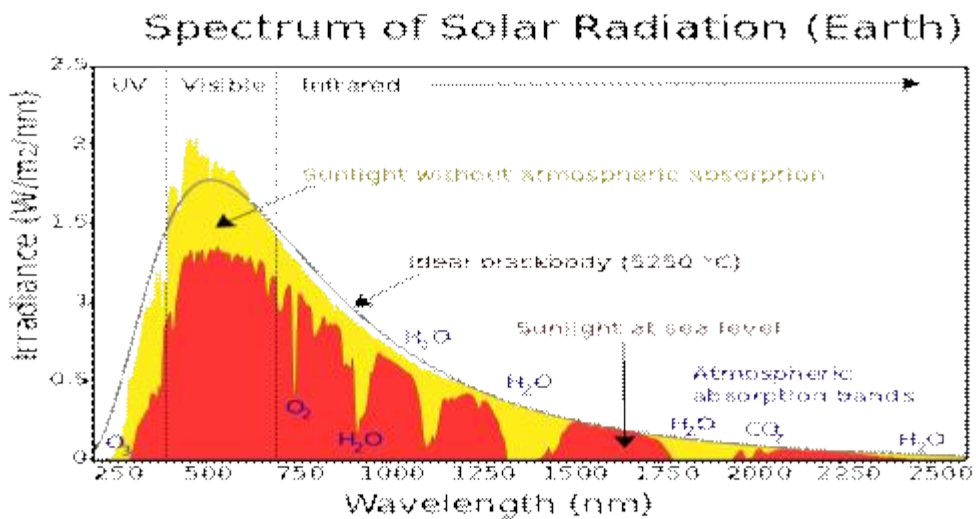
그림 3-7 [온실가스 감시 위성의 3가지 관측 모드]



2.3.3. 광학 목표 사양 (분광기 타입)

- 온실가스 감시를 위한 광학 사양의 결정하기 위해서는 가장 중요한 변수들을 고려해야 함
- 본 보고서에서는 초소형위성 또는 소형위성에 가장 부합된다고 판단되는 분광기 타입의 경우로 한정함

그림 3-8 [지구에 반사되는 태양빛의 복사량]



출처: <https://www.e-education.psu.edu/meteo300/node/683>

- 특히, 기상청에서 추진하고자 하는 이산화탄소의 총량 산출에서 가장 중요한 변수는 앞서 기술하였듯이, 높은 분광분해능(FWHM=0.1nm, R~20,000)과 충분한 신호대잡음비(SNR > 200)로 판단됨
- 이산화탄소의 흡수선을 관측하기 위하여 관측 파장대역 1-3 μ m으로 하고, 지구 복사량(irradiance)은 이 파장 대역에서의 일반적인 관측값(~4W/m²/ μ m/sr)으로 가정할 수 있음
 - 합리적인 예산 범위를 가정하였을 때 근적외선 검출기 사양은 위성 운영고도 500km, Array 560 \times 512, 픽셀크기 15 μ m, 광학계 구경 80mm(f/7) 등을 가정함
- 기본 변수들로부터 기본 광학 사양을 아래 표와 같은 결과를 얻을 수 있음
 - 위성고도 500km에서 80mm 구경의 광학계로 분광분해능 20,000과 신호대잡음비 약 200을 달성하기 위해서 5초 이상의 노출시간이 필요함

표 3-5 [기본 광학 사양의 도출]

Parameter	Value
Orbital Altitude [km]	500
Pixel Size [μ m]	15
Array Numbers (Spatial Direction)	560
Array Numbers (Spectral Direction)	512
DTEL[mm]	80
FNOTEL	7
IR Surface Brightness (@3.0 μ m) [W/m ² / μ m/sr]	3.97
Wavelength [μ m]	1-3
Spectral Resolution (R)	20000
Throughput (QE x Transmittance)	0.68
Exposure Time [sec]	5
S/N Ratio	221
Blaze Angle (θ_b) [deg] (at Littrow)	40.53741021
Reference Order (m)	1

2.3.4. 위성체 사양

- 충분한 노출시간으로 관측하기 위해서는 위성체의 자세제어를 통한 target mode가 필수임
 - glint mode로 관측할 경우, 태양빛의 반사 세기가 더 강하기 때문에 더 짧은 노출시간으로 관측이 가능할 수도 있음

- target mode로 특정 지역을 지향하는 관측은 소형 및 중대형위성에서는 일반적일 수 있으나, 초소형위성의 경우 전력소모가 매우 제한적일 수 있기 때문에 세부적인 분석이 필요함
- 자세정밀도의 정도에 따라 고사양의 부품 및 모듈이 필요할 수도 있어서, 저예산으로 도전하는 초소형위성에서 극복해야할 요소임. 하지만, 소형위성으로 가정한다면 충분히 달성 가능한 사양임
- 자세제어를 대신하여 광학계 전단에 시야조정용 고속스캔거울(fast steering mirror)을 사용할 수도 있음
 - 이 기술은 중대형 정지궤도 위성에 사용된 바는 있지만, 우주용으로 사용될 만큼 국내 기술이 성숙하지 않아서 해외에서 도입하였던 사례가 있음(예: GK2B)
 - 최근 해외에서는 초소형위성 및 소형위성급에도 사용하려는 움직임이 보임(예: 이스라엘 Elbit Systems-Aerospace)
 - 고속스캔거울을 사용하면 위성체 전체의 자세제어보다는 전력소모가 훨씬 줄어들 수 있는 큰 장점이 있음
 - 즉, 위성체는 마치 nadir mode처럼 운영되지만, 고속스캔거울이 관측지점을 지향 관측하면서 충분한 노출시간을 확보하는 것임
 - 단기적으로는 위성체의 자세제어 방식을 채택하고, 중장기적으로 고속스캔거울 방식의 연구개발이 필요함

3. 온실가스 감시 초소형기상위성 개발 가능성 검토

3.1. 개발 목표

- 온실가스 감시를 위한 (초)소형위성 인증모델 개발
- 이산화탄소 총량 산출을 위한 초분광 근적외 탐측기 인증모델 및 산출 알고리즘 개발 (오차범위: 1ppm 이하)
- (초)소형위성급 본체 인증모델 개발
- 시스템 환경시험 및 검교정
- 시험발사 및 지상국 운영

표 3-6 [주요 개발 목표]

항 목	개발 범위	
체계종합	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임무 설계 ○ 시스템 인증모델 열진공 및 진동 우주환경시험 ○ 인증모델 체계 일정/인력/예산/품질/위험 관리 ○ 발사체 선정, 발사 및 운용 	
탑재체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초분광 탑재체 인증모델 설계 및 제작 ○ 초분광 탑재체 인증모델 성능 시험 및 검교정 ○ 검출기 구동 및 처리 전자부 개발 ○ 산출 알고리즘 개발 	
위성체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성 본체 인증모델 개발 및 시험 ○ 원격측정 명령계 ○ 비행소프트웨어 개발 ○ 전력계 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열구조계 ○ 자세제어계 ○ 통신계 ○ 추진계(필요시)
지상국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지상국 운용 ○ 자료처리 소프트웨어 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비행임무 소프트웨어 ○ 지상 안테나 시스템

3.2. 소요 기술 및 기술확보 현황

표 3-7 [소요 기술 및 기술확보 현황]

연구 대상 분야	구성품	소요기술	내용	기술 보유 여부*
체계종합	임무설계	본체 설계 및 해석 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 발사환경, 우주환경에서의 구조적, 열적 강건성을 갖는 본체 구조물 설계 - 구조해석을 통한 본체 시스템 구조적 특성 분석 및 안전성 확보 - 본체 구조물중 전개형 부품을 위한 구동부, 지지부 설계 및 제작 	확보

연구 대상 분야	구성품	소요기술	내용	기술 보유 여부*
	시험 및 검증	시험 및 검교정 기술	- 본체 시스템 수준에서의 궤도환경 검증시험 - 본체 시스템 수준에서의 발사환경 검증시험 - 본체 시스템 수준에서의 사출환경 검증시험	확보
	발사 인터페이스	발사관 기술	- 초소형위성 발사관 기술	확보
탑재체	초분광 근적외 탐측기	광학계 설계 및 정렬 기술	- 초분광 근적외 분광기 광학설계 및 광기계부 설계 - 광학계 성능을 극대화하는 가공, 조립 및 정렬 기술 - 광학요소 가공 및 가공 후 우주환경에서 재료의 소재특성유지 및 2차 변형을 예방하고 구조계를 조립하는 기술을 개발 - 시스템 검·교정 기술	부분 확보**
	초분광 근적외 탐측기	센서 구동 기술	- 검출기 독립 제어 및 영상획득 기술 - FPGA를 이용한 고속 디지털 하드웨어 설계/제작 기술 - 대용량 영상획득 및 고속 Data Link 시스템 적용을 위한 기술 - 실용급 및 중형급 위성 탑재체 개발에서 확보된 기술을 적용	확보
위성체	열구조계	구조 및 열제어 기술	- 발사환경, 우주환경에서의 구조적, 열적 강건성을 갖는 본체 구조물 설계 - 궤도 열해석을 통한 본체 시스템 열적 특성 분석 및 안전성 확보	확보
	비행소프트웨어계	비행소프트웨어 기술	- 비행소프트웨어 설계, 코드 개발 및 초기접속 시험, 코드 장기 성능 시험	확보
	원격측정 명령계	원격측정명령기술	- 본체 원격측정 명령계 설계 및 제작	확보
	자세제어계	자세 결정 및 제어 기술	- 본체 태양센서 설계, 제작 및 성능 평가 - 본체 별센서 설계, 제작 및 성능 평가 - 본체 지자기센서 설계, 제작 및 성능 평가 - 본체 GPS 수신기 설계 및 제작 - 본체 자이로스코프 설계 및 제작 - 본체 반작용휠 설계 및 제작 - 본체 자세제어 알고리즘 개발 및 프로세서 제작	확보
	통신계	통신계 기술	- 본체 S밴드 Link Budget Analysis - 본체 S밴드 송수신기 설계, 제작(구매) 및 성능 측정 - 본체 S밴드 안테나 설계, 제작(구매) 및 빔 측정	확보
	전력계	전력계 기술	- 본체 태양전지판 설계 및 제작 - 본체 배터리 설계 및 제작 - 본체 전력제어기 설계 및 제작	확보
	추진계 (필요시)	추력기 기술	- 초소형위성용 추력기 기술	미확보
	지상국	지상국 소프트웨어	지상국 소프트웨어 기술	- 위성과 지상국간 원격명령/원격측정 데이터를 송/수신하기 위한 지상국 접속시간을 예측하여 관제운용 수행 구간 정보를 생성

연구 대상 분야	구성품	소요기술	내용	기술 보유 여부*
			- 위성의 촬영임무 또는 전력 충전 등 위성 임무 수행 시 제약사항이 되는 달, 태양 식구간의 시간 정보 획득	
	자료처리 소프트웨어	초분광 영상 처리 기술	- 관측된 자료의 전처리 및 검교정 기술 - 관측된 분광정보와 공간정보를 융합하여 (x, y, λ)의 데이터큐브를 최종 산출하는 기술	미확보

* 실제 국내 체계사업에서의 헤리티지 유무

** 천문연에서 차세대소형위성 1호 탑재체 근적외선 영상분광시스템 NISS에서 선형분광필터를 이용한 분광시스템의 개발은 성공적으로 개발하였지만, 회절격자를 이용한 분광시스템의 비행모델 개발 경험은 없음

3.3. 국내 관련 산학연 현황

3.3.1. 국내 초소형 및 소형위성 개발 사례

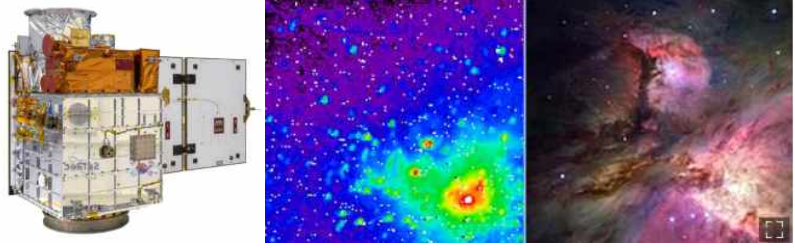
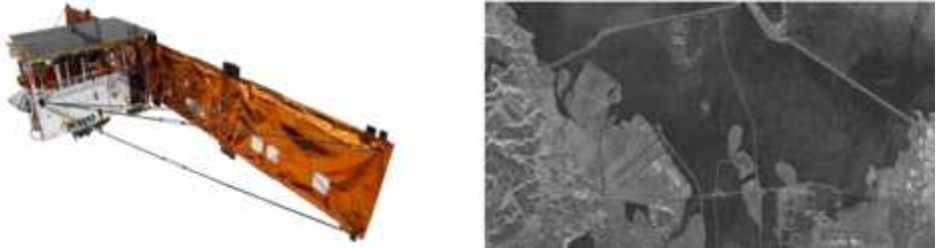
□ 연구소

○ 한국천문연구원의 SNIPE 위성, KAIST 인공위성연구소의 차세대소형위성 1호/2호 등이 개발되었음

- SNIPE 위성: 근지구 우주공간 플라즈마 미세구조의 시공간적 변화 동시 관측 임무
- 차세대소형위성 1호/2호: 우주핵심기술 검증, 지상관측 임무(SAR) 임무 등 수행

표 3-8 [국내 연구소 초소형 및 소형위성 개발 사례]

No.	개발기관	위성명	탑재체	임무	비고
1	한국천문연구원	SNIPE	<ul style="list-style-type: none"> - 입자검출기(SST) - 랑뮈어 탐침(LP) - 자력계(MAG) 	<ul style="list-style-type: none"> - 근지구 우주공간 플라즈마 미세구조의 시공간적 변화 동시 관측 - 4대 큐브위성 편대비행 	<ul style="list-style-type: none"> - 고도: 550km - 크기: 6U
					

2	KAIST 인공위성 연구소	차세대 소형위성 1호	- 근적외선 영상분광기(NISS) - 우주폭풍연구 탑재체	- 과학임무 - 우주핵심기술 검증	- 고도: 575km - 무게: 100kg
					
		차세대 소형위성 2호	- 영상레이더 - 우주방사선 관측기 - X대역 전력증폭기 - PCM적용 열제어장치 - GPS, Galileo 복합 항법수신기	- 지상관측 임무(SAR) - 우주핵심기술 검증	- 고도: 550km - 무게: 180kg
					

□ 대학

- KAIST, 서울대학교 등 대학교에서 과기정통부 큐브위성 경연대회 등을 통해 초 소형위성 개발을 지속적으로 시도하였음

표 3-9 [국내 대학 초소형 및 소형위성 개발 사례]

No.	개발기관	위성명	개발 시기	임무	비고
1	한국항공 대학교	KAUSAT-5	큐브위성 경연대회 (2012)	적외선영상 촬영 및 CMG 검증	- 발사 - 통신 실패
		VisionCube	큐브위성 경연대회 (2015)	메가 번개 관측 및 초소형 CMG개발	- 발사 - 통신 실패
		HAUSAT-01	국가연구실 사업	전개형 구조 검증 및 GPS 시험	- 발사체 실패
		HAUSAT-02	국가연구실 사업	동물추적 및 우주방사능 측정	- 개발완료 - 발사 미정

					
2	경희대학교	KHUSAT-01	WCU 사업	근지구 입자검출 및 자기장 측정	- 비콘 및 HK 수신
		KHUSAT-02	WCU 사업	근지구 입자검출 및 자기장 측정	- 비콘 수신
		KHUSAT-03	큐브위성 경연대회 (2013)	우주방사선 및 자기장 측정	- 비콘 수신
					
3	서울대학교	SNUSAT-01	큐브위성 경연대회 (2012)	산소 원자 검출	- 발사 - 통신 실패
		SNUSAT-02	큐브위성 경연대회 (2015)	관심지역 조기탐지 임무	- 발사 - 통신 실패
		SNUGLITE	큐브위성 경연대회 (2015)	L1/ L2 GPS 개발 및 지진 관측 임무	- 비콘 수신
		SNUGLITE-2	큐브위성 경연대회 (2019)	위성 항법시스템을 활용한 날씨, 대기관측	- 비콘/TM/T C 수신
					

4	KAIST	LINK	큐브위성 경연대회 (2012/QB50)	이온층 질량분석 및 열전자 온도, 밀도 측정	- 통신 및 일부 임무데이터 수신
		ASTRIS-2	큐브위성 경연대회 (2019)	초분광 카메라를 활용한 지구관측 및 통신임무	- 비콘 수신
		K2SAT	위탁사업	지구관측 임무	- 발사 - 통신 실패
					
5	연세대학교	Tom & Jerry	큐브위성 경연대회 (2012)	분리형 우주망원경 정렬 기술검증	- 비콘 수신
		CANYVAL -C	큐브위성 경연대회 (2017)	비전정렬시스템을 활용한 태양 코로나 관측	- 발사 - 통신 실패
		MIMAN	큐브위성 경연대회 (2019)	고성능 카메라를 활용한 미세먼지 관측	- 비콘/TM/T C 수신
					
6	조선대학교	STEP Cube Lab.	큐브위성 경연대회 (2013)	우주핵심 기술부품 탑재 및 궤도검증	- 비콘 수신
		KMSL	큐브위성 경연대회 (2017)	마이크로중력환경을 이용한 과학 임무	- 비콘/TM/T C 수신
		STEP Cube Lab-2	큐브위성 경연대회 (2019)	EO/IR 카메라를 활용한 지구 관측	- 비콘 수신

					
7	충남대학교	CNUSAIL-01	큐브위성 경연대회 (2013)	태양돛 개발 및 자세제어 연구	- 발사 - 통신 실패
					

□ 산업계

○ 누리호(2023년 발사) 개발 과정에 국내기업 300여 곳이 다양한 우주개발 분야에 참여

표 3-10 [국내 산업계 초소형 및 소형위성 개발 사례]

분야		주요기업
체계종합	체계총조립	○ 한화에어로스페이스
	지상제어시스템, 하니스, 시험장치, 설계 등	○ 유콘시스템, 카프마이크로, 우레아텍, 한양이엔지, 제이투제이코리아
추진기관 /엔진	엔진총조립	○ 한화에어로스페이스
	터보펌프	○ 한화에어로스페이스, 에스엔에이치
	연소기/가스발생기	○ 비츠로넥스텍, 네오스펙
	추진기관 공급계	○ 한화에어로스페이스, 한화, 비츠로넥스텍, 하이록코리아, 네오스펙, 스페이스솔루션, 삼양화학
	배관조합체	○ 한화에어로스페이스
	계측시스템	○ 이엔이
구조체	탱크, 동체	○ 한국항공우주산업, 두원중공업, 에으엔케이항공, 이노컴, 한국화이바, 데크항공
	가속/역추진모터, 페어링, 파이로분리, 설계/시험 등	○ 한화, 한국화이바, 제이투제이코리아, 브이엠비이테크

유도제어 /전자	구동장치시스템, 추력기시스템 등	○ 스페이스솔루션, 한화에어로스페이스
	위성항법 수신기시스템	○ 덕산넵코어스
	전자탐재시스템	○ 단암시스템즈, 기가알에프, 시스코어
	임무제어시스템	○ 한화
열/공력	열제어/화재안전 등	○ 한양이엔지, 지브이엔지니어링, 에너베스트
발사대	설비구축	○ 현대중공업, 한양이엔지, 제넥, 건창산기
	토목/건축	○ 영민종합건설, 대선이앤씨, 유한씨유
시험설비	설비구축	○ 한화, 한화에어로스페이스, 현대로템, 한양이엔지, 비츠로 넥스텍, 이엠코리아, 신성이엔지
	토목/건축	○ 한진중공업, 계룡건설, 동일건설, 대우산업개발

□ 산학연 개발 현황 요약

- 상기에서 보는 바와 같이 한국천문연구원, KAIST 인공위성연구소와 같이 관련 기술에 대한 경험 및 노하우를 보유하고 있고 안정적이고 지속적인 연구가 가능한 연구기관 주도로 개발된 초소형위성의 경우 기술개발에 성공함
 - 대학의 경우 큐브위성 경연대회를 중심으로 초소형 위성 개발을 위한 다양한 시도 등을 통해 관련 경험 및 노하우 축적 중
 - 기업의 경우에도 주로 부분체 부품 개발을 수행하여 독자적 임무 개발 및 시스템 설계·해석 경험이 부족한 상황 (R&D 역량 낮음)
 - 이는 특정 임무를 가지는 초소형위성 기술개발의 난이도가 의외로 높아서, 체계개발 경험이 적은 기초연구 중심의 대학 및 민간이 참여하기에는 한계가 있음을 의미함
 - 이러한 점은 뉴 스페이스 시대의 딜레마 중 하나라고 볼 수 있음
- 이와 같은 이유로 인해 해외 주요국의 경우에도 공공연구기관을 중심으로 기술을 개발하여 민간에 개방하는 방식을 채택
 - 미국: NASA 초소형위성 프로젝트 수행을 통해 참여 연구원들이 민간 초소형위성 기업 창업
 - 일본: JAXA 전문가들이 민간 산업체, 스타트업의 기술지원을 수행하는 경우가 많으며, 세계 최소 우주쓰레기 청소위성 스타트업인 Astroscale사도 JAXA 전문가들이 일부 합류하여 기술적인 자문과 지원

- 유럽: ESA는 2014년부터 초소형위성 프로젝트를 시작하였으며, 기관에서는 임무를 개발하고 이를 유럽 내 초소형위성 업체에게 위성체 개발을 맡기는 방식을 통해 민간 기업을 지원·육성하였음
- 이에 따라 우리나라의 경우에도 초소형위성 기술개발 초기 단계의 경우 민간 보다는 공공영역을 중심으로 개발하는 것이 바람직함
- 공공영역 또는 연구기관에서 초소형위성의 체계사업을 통해 인증모델의 헤리티지를 확보하고, 민간 산업체에 기술 이전하는 추진전략이 필요함
- 공공은 초소형위성에 적합한 우주환경시험 연구·제공, 관련 기술 교류·동향 파악을 위한 세미나 운영, 유망인력 공급 등 기반 조성 등을 민간에 제공할 수 있음

3.3.2. 국내 초소형위성 개발 관련 산업체 현황

- 국내 초소형위성 개발 관련 업체들의 경우 세트렉아이, 나라스페이스, 루미르, 솔탑, 컨택, 이노스페이스 등이 대표적이며 관련 업체는 증가하고 있는 추세임

표 3-11 국내 초소형위성 관련 산업체 현황

No.	기업명	제공서비스 / 관련 부품	비고
1	나라스페이스	위성 탑재컴퓨터 (초소형위성)	위성체
		초소형위성 플랫폼 (위성 버스 전체)	위성체
		위성영상 서비스 플랫폼 (Earth Paper)	관련 서비스
2	대한항공	위성 본체 구조물 개발 (알루미늄 허니콤 샌드위치)	위성체
3	두시텍	GNSS 복합 수신기	위성체
4	루미르	소형 SAR 탑재체	탑재체
		SAR 제어 전자 장치	탑재체
		SAR 영상처리 시스템	지상국
5	솔탑	위성 관제 시스템 개발	지상국
		위성 영상처리 시스템 개발	지상국
6	스텝랩	진동저감장치 개발	위성체
		우주 기계시스템 설계 자문/해석 (구조/열)	위성체
		환경시험 지원	관련 서비스
7	세트렉아이	전자광학 탑재체	탑재체
		지상 시스템 (MCS, IRPS)	위성체
		위성 시스템 & 본체	위성체
		위성 시스템 교육	관련 서비스
		발사준비, 초기운용 및 궤도상 시험 서비스	관련 서비스
8	에스아이아이에스	아리랑위성 시리즈 영상서비스	관련 서비스

No.	기업명	제공서비스 / 관련 부품	비고
9	아이옵스	지상시스템/네트워크 구축 및 유지보수	관련 서비스
		지상 소프트웨어 개발	지상국
		위성 관제시스템 운영 대행	관련 서비스
		위성 전기전자시험 지원	위성체
10	알에프시스템즈	위성용 SAR 안테나 (전개구조물)	위성체
11	에델테크	레이더 시스템 탑재 보드 및 장치	위성체
		FPGA 설계 및 개발	위성체
12	AP위성	위성 통신 하드웨어 (지상단말기)	위성체
		위성 탑재컴퓨터	위성체
		고속자료처리장치	위성체
		100kg 급 소형위성 플랫폼	위성체
		지상 시험 지원장비 (EGSE)	위성체
		위성이동 통신(GMPCS) 서비스	관련 서비스
		ICEYE 영상 서비스	관련 서비스
13	LIG 넥스원	SAR 탑재체	탑재체
14	에스에이티	열진공챔버 시스템	위성체
		질량특성계측장비	위성체
15	엑스엠더블유	위성통신용 송신기 (BUC)	위성체
		위성통신용 수신기 (LNB, LNA, BDC)	위성체
16	웨이브온	위성망 국제/국내 등록, 국제조정, 주파수 보호 기술 지원 및 자문	관련 서비스
17	이노스페이스	우주발사체 서비스	관련 서비스
18	이엘엠	MLI 제작 및 부착	위성체
		ESD Screen 부착	위성체
19	제노코	X-band 변조기, 송신기	위성체
		S-band 디지털 송수신기	위성체
		위성 EGSE 개발	위성체
20	저스텍	위성 자세 제어용 구동기	위성체
		제어 모멘트 자이로 개발	위성체
21	텔레픽스	극소형 위성용 전자광학탑재체	탑재체
		위성간 초고속통신 시스템(ISL)	위성체
22	페리지 에어로스페이스	우주발사체 서비스	관련 서비스
23	컨택	지상국 운영 서비스 (글로벌 네트워크)	관련 서비스
		위성영상 전처리 서비스	관련 서비스
		위성영상 활용 서비스	관련 서비스

No.	기업명	제공서비스 / 관련 부품	비고
		광학 탑재체 개발	탑재체
		지상국 구축 및 컨설팅	지상국
24	한화시스템	광학 카메라 (서브미터급)	탑재체
		IR 센서	탑재체
		초소형 SAR 위성 본체 및 탑재체	탑재체
		광학 탑재체 카메라 제어부	탑재체
		S-대역 트랜스폰더 개발	위성체
25	한컴 인스페이스	InStation Platform (고품질 지상국 플랫폼)	지상국
		위성영상 분석 솔루션	관련 서비스
26	아이쓰리시스템	IR 센서	탑재체
27	오송첨단의료산업 진흥재단 초정밀가공팀	광학 초정밀 가공	탑재체
28	그린광학	광학 가공	탑재체

- 국내 초소형 위성 관련 기업들의 경우 앞서 살펴본 바와 같이 주로 부분체 부품 개발을 수행하여 독자적 임무 개발 및 시스템 설계·해석 경험이 부족한 한계가 있음
 - 국내 초소형위성 시스템, 부품 개발을 직접 수행하고 있는 민간 기업은 약 10개사 정도이며, 기업내 연구개발 인력도 평균 10명에 불과함
- 국내 관련 기업들의 경우 대부분 기술준비수준(TRL) 수준이 상대적으로 높은 위성체, 지상국 등으로 편중 되어있음
 - 이에 따라 공공을 중심으로 탑재체 관련 기술 등 핵심 요소 기술 개발로 기존 소형위성 이상의 임무를 초소형위성으로 수행하기 위한 기술적 한계 극복이 필요
 - 초소형위성에 특화된 혁신임무(편대 비행, 위성간 통신 등) 또는 신개념 서비스(궤도상 서비스, 탐사기술 등) 구현을 위한 선행기술 개발을 통해 추후 해당 기술 등을 민간에 이전하는 방식이 필요

3.4. 국내 기술준비수준(TRL)

- 기술준비수준(Technology Readiness Level, TRL)이란, 특정 기술의 성숙도를 평가하거나, 서로 다른 유형의 기술성숙도를 일관되게 비교할 수 있도록 도와주는 체계적인 측정수단이라고 정의할 수 있음
 - 해당 기술이 응용되어 쓰일 수 있기까지 어느 정도 준비되었는지 확인하는 정량적인 수준을 말하며, 양산 등을 반영하여 9단계로 분화되어 사용
 - 하드웨어는 통상적으로 TRL6 이상부터 기술을 보유한 것으로 간주함

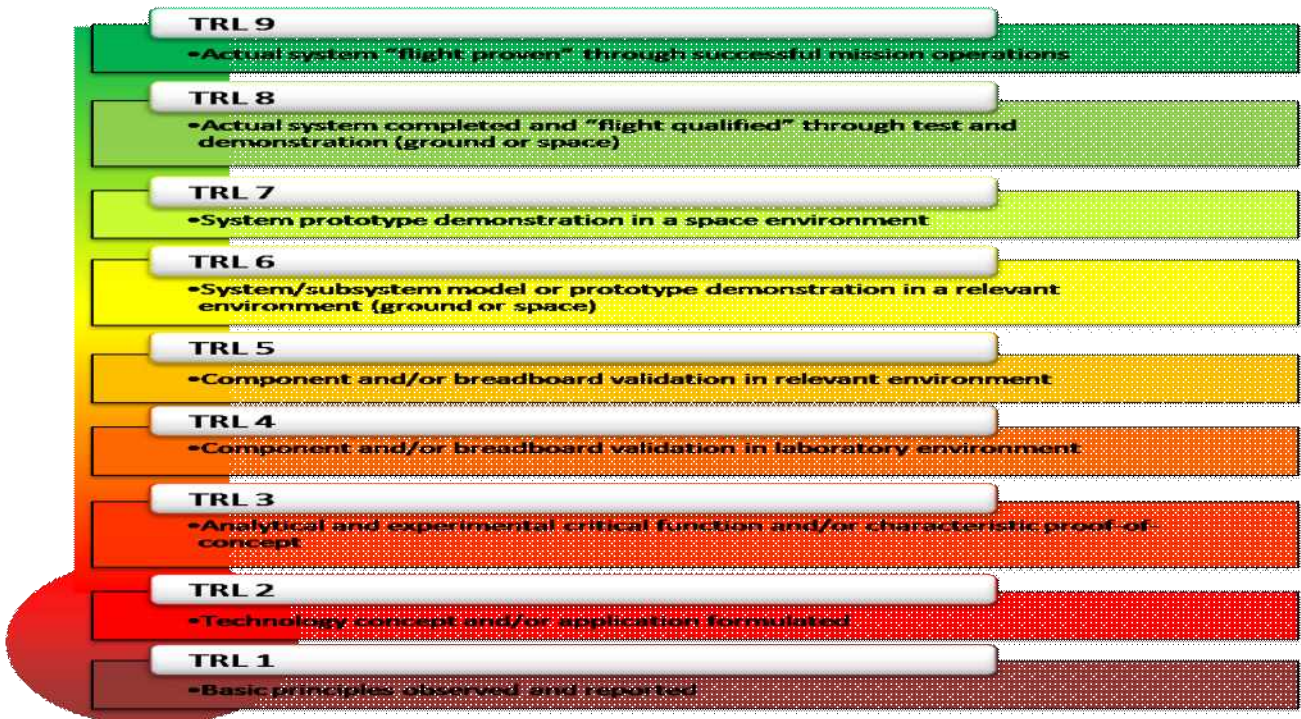
○ 국내 위성개발 관련 위성체, 지상국, 발사체 기술준비수준은 그동안 많은 임무경험을 통하여 상당 부분 TRL6 이상라고 볼 수 있음

- 하지만, 임무의 종류와 성격에 많은 영향을 받는 탑재체의 경우는 세부적으로 분석해 볼 필요가 있음

표 3-12 [하드웨어 관련 체계개발의 기술준비도]

TRL	의미	기술준비도 정의	상세 설명
1	응용 단계	관찰된 또는 보고된 기초원리	과학적연구가 응용기술개발로 발전되기 시작. 과학기술의 기본적인 특성에 대한 논문 연구
2		개념기술 또는 공인된 응용기술	개발시작, 기본 원리 탐색 후 실용적 응용개발 가능, 추론이므로 증명 또는 가정을 뒷받침하는 상세한 해석이 없을수 있음
3	실험 단계	이론/실험에 의한 핵심기능이나 개념기술의 특성 증명	기술개발 착수, 해석적인 연구 또는 실험이 개별기술의 이론적 가정에 대한 유효성을 제시함. 통합적이거나 대표적인 사례 없음
4		실험실 환경에서 구성요소를 조립하여 유효성 확인	개별기술의 통합. 최종목표와 비교할 때 다소 떨어지는 성능의 기술, 실험실 환경에서의 시작품 개발 완료
5	시작품 단계	유사한 환경에서 구성요소를 조립하여 유효성 확인	시작품 기술성능의 향상. 기술구성 항목을 합리적, 현실적으로 뒷받침하는 요소기술의 통합으로서, 모사환경에서 시험완료
6		유사한 환경에서 시스템 모형이나 서브시스템 시작품 검증	주요성능평가에 적절한 환경에서의 시작품. 성능 검증의 진일보. 고정밀 실험실 환경 또는 유사 환경에서의 시작품 시험 완료
7	제품화 단계	실제 환경에서 시스템 시작품 검증	실제 환경 또는 이와 근접한 환경에서의 시작품, 항공기, 자동차 또는 우주환경과 같은 실제상황에서 시작품의 성능검증을 함으로써 TRL6에서 진일보된 상태
8		실제 시스템 완료 및 인증	최종 시제품으로서 기술 검증 완료. 대부분 조건에서 실제 시스템 개발의 완료
9	사업화 단계	성공적인 작동, 양산 및 적용	최종 제품으로써 실제 적용 및 임무수행. 시운전 및 평가

그림 3-9 [NASA에서 정의한 기술준비수준]



출처: www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level

- 다음의 표는 온실가스 감시를 위한 근적외 초분광 탐측기의 기술준비수준을 분석한 것으로 탑재체 관련 기술 중에서도 전자부와 성능시험 분야는 높은 수준에 도달하였음을 알 수 있음
 - 아래의 기술준비수준은 위성개발 각 분야의 전문가들의 자문을 통해 작성하였음
 - 반면, 광학면 코팅이나 검출기, 분광소자의 경우는 국내의 기술로 우주검증을 받은 사례가 없어서, 국내기술로 확보하기 위한 체계적인 개발 계획과 산업체 지원 및 발굴이 필요함

□ 국내 기술준비수준(1): 초분광 탐측기

표 3-13 [국내 초분광 탐측기 관련 기술준비수준]

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL [현재]	TRL [목표]	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
시스템	시스템 설계/성능	탐재체 설계	6	9	보유	○	-	정지궤도 플랫폼, 임무분석, 성능 버짓팅	주요 성능(SNR, MTF, GSD, Channels)을 만족하기 위한 탐재체 개념 설계 (탐재체 시스템 설계 착수를 위한 Tradeoff study를 통한 Baseline 설정)
		탐재체 운영/관측개념 설계	6	8	보유	○	-	임무설계, 관측방식, 운영개념	정지궤도에서 관측임무(관측영역, 관측채널) 수행하기 위한 구체적인 영상촬영 시나리오 개발. 탐재체 전자부에 구현될 로직 (Baseline) 도출
		탐재체 성능 살계/분석	6	7	보유	○	-	MTF, SNR, Pointing	pointing, MTF, SNR, Radiometric model, Straylight 해석 등
센서부	망원경부 (fore-optics)	망원경부 설계	8	8	보유	○	-	-	SI의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktuirk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들, 소형위성용 초다중채널 카메라 (산자부과제) 등의 사례
		반사경 가공	7	8	보유	○	-	-	과학기술위성 3호 탐재체 MIRIS, 차세대소형위성 탐재체 NISS 사례
		반사경 코팅	9	9	보유	-	○	-	SI의 XSAT, RASAT 카메라에 국내 반사경 코팅 사용 사례. 구경 < 120 mm

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
		렌즈면 가공	9	9	보유	○	-	-	과학기술위성 3호 탑재체 MIRIS, 차세대소형위성 탑재체 NISS 사례, SI의 별센서, XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Gokturk-2 등에 국내가공 렌즈 사용 사례
		렌즈면 무반사 코팅	9	9	보유	○	-	-	과학기술위성 등 비구면 렌즈면 가공 및 코팅을 성공한 사례가 있음. 반사경 주경의 경우는 아직 사례가 없음
	분광기 (Hyperspectral)	분광부 설계	6	8	일부보유	○	-	-	-
		슬릿제작	4	-	무	-	○	-	-
		프리즘제작	5	8	일부보유	○	-	-	우주핵심과제 달탐사용 적외선 분광기에 적용. 일부 우주환경시험 패스
		회절격자 제작	6	8	무	-	○	-	회절격자가 필요한 경우 해외구매가 불가피함. 국내개발의 경우 가능한 하나 시간과 비용의 문제를 고려하여 결정하여야함
	기계부	기계부 설계	8	8	보유	○	-	-	셋트렉아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Gokturk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TelEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들, 소형위성용 초다중채널 카메라 (산자부과제) 등의 사례

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
		망원경 구조체 제작	8	8	보유	○	-	-	세트렉아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들, 소형위성용 초다중채널 카메라 (산자부과제) 등의 사례, 복합소재의 경우 SI 제작, SiC 구조물의 경우 일부 해외도입 필요
		분광부 구조체 제작	6	8	보유 가능성	○	-	-	Invar나 Ti를 이용할 경우 제작이 가능한 것으로 파악됨. 필요한 경우 Ti의 3d printing을 통해 구조물 제작 후 비파괴검사로 품질인증 필요
	열제어부	열제어부 설계	8	8	보유	○	-	-	세트렉아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례
		방열판/히터/센서 /MLI 제작	8	8	제작/조립 기술국내 보유, 부품들은 구매필요	○	-	radiator, heater, thermal sensor	세트렉아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례. SI의 경우 방열판을 사용하지는 않았음. MLI는 다목적 위성용으로 KAI에서 제작하여 제공한 바 있음
	검출부	검출기 설계	6	8	보유	○	-	SWIR 센서	i3시스템에서 SWIR 센서 설계 및 제작 기술을 보유. 하위제품은 실제 상품으로 판매됨

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
		검출기 제작	6	8	보유	-	○	SWIR 센서	i3시스템에서 SWIR 센서 설계 및 제작 기술을 보유. 하위제품은 실제 상품으로 판매됨
전자부	탑재체 전자부	탑재체 전자부 설계/제작/시험	6	8	보유	○	-	탑재체 제어와 버스 간 인터페이스 통신을 위한 전자부의 설계 기술	제어전자부 설계 기술은 이미 저궤도 또는 정지궤도 위성에서 적용된 사례가 있으나 환경탑재체 요구사항에 맞는 인터페이스 환경을 고려하여 새로운 기술을 적용한 설계가 필요함
조립/통합/시험	탑재체 조립/정렬	망원경부 정렬	8	8	보유	○	-	-	다목적실용위성 카메라 시리즈, SI의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktuirk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례
		분광부 정렬	4	8	미보유	○	-	-	한화시스템에서 항공용 Offner AI-Sic (순수 SiC와 유사하나, AI 비율이 더 높음) Hyperspectral Imager 구조체 및 반사경 제작, 조립 정렬 및 비행 시험 완료
		광학 구동부 정렬	5	8	일부보유	○	-	-	다목적실용위성 카메라 시리즈
		초점면 전자부 정렬	8	8	보유	○	-	-	항공우주연구원, 한화시스템에서 다목적실용위성 3A호 검출기 조립정렬, 저궤도에서 운용중임. SI의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktuirk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
	탑재체 성능검증 기술	망원경 성능 시험	8	8	보유	○	-	MTF (변조전달함수), 형상오차	썬트랙아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례
		분광부 성능 시험	4	8	보유 가능성	○	-	분광감응도, 선형성	-
		초점면 전자부 성능 시험	8	8	보유	○	-	-	항공우주연구원, 한화시스템에서 다목적실용위성 3A호 검출기 조립정렬, 지상 성능시험 후 저궤도에서 운용중임. SI의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례
	탑재체 환경시험 기술	진동시험	8	8	보유	○	-	Shaker, 구조해석	썬트랙아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례
		전자기파시험	8	7	보유	○	-	acoustic chamber, 음향해석	썬트랙아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례
		열진공시험	8	8	보유	○	-	Thermal Cycling, Thermal Balance	썬트랙아이의 XSAT, RASAT, DubaiSat-1, Göktürk-2, DubaiSat-2, KhalifaSat, TeLEOS-1, DS-EO 등에 탑재된 카메라들의 사례

□ 국내 기술준비수준(2): 초소형위성체

표 3-14 [국내 초소형위성체 관련 기술준비수준]

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL [현재]	TRL [목표]	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
열구조계	구조계	발사환경 및 운영환경에서의 구조적 강건성을 갖는 본체 구조물 설계	6	9	보유	○	-	기본	일반 위성 해석과 유사함
	열제어	발사환경에서의 열적 안정성을 갖는 본체 구조물 설계	6	9	보유	○	-	기본	일반 위성 해석과 유사함
		궤도 열해석을 통한 본체 시스템 열적 특성 분석 및 안전성 확보	6	9	보유	○	-	기본	일반 위성 해석과 유사함
자세 제어계	자세결정	본체 태양센서 설계, 제작 및 성능 평가	6	9	보유	○	-	Coarse Sun Sensor	(주) 드림스페이스월드
		본체 별센서 설계, 제작 및 성능 평가	9	9	보유	○	-	Dove 위성 탑재	KAIST 윤효상 교수 Plenet Labs Dove 탑재
		본체 지자기센서 설계, 제작 및 성능 평가	6	9	보유	○	-	SNIFE 탑재	(주)센서피아 손대락 교수, SNIFE 탑재

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
		본체 GPS 수신기 설계 및 제작	9	9	보유	○	-	Dual Freq GPSR	서울대 기창돈 교수 SNUGLITE-1 탑재
		본체 자이로스코프 설계 및 제작	-	-	미보유	-	○	Sensoner STIM210	200 arcsec AD 정확도
	자세제어	본체 마그네틱 토크	6	9	보유	○	-	-	(주)센서피아 손대락 교수, (주) 드림스페이스월드
		본체 반작용휠 설계 및 제작	6	9	보유	○	-	SNIPE 탑재	(주)레볼루띠 SNIPE 탑재(지터 성능 검토 필요)
		본체 자세제어 알고리즘 개발 및 프로세서 제작	5	9	보유	○	-	우주 검증 필요	부산대 조동현 교수 알고리즘, SNIPE 탑재(250 arcsec 제어 성능 예측)
통신계	통신계	본체 S밴드 Link Budget Analysis	9	9	보유	○	-	기본	일반 위성 해석과 유사함
		본체 S밴드 송수신기 설계, 제작 (구매) 및 성능 측정	-	-	미보유	-	○	2.4 kbps to 90 kbps	Gomspace AX2150
		본체 S밴드 안테나 설계, 제작(구매) 및 빔 측정	-	-	미보유	-	○	Omni Antenna	Gomspace AM2150-O

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
전력계	전력계	본체 태양전지판 설계 및 제작	8	9	보유	○	-	8W 3U 1차 전개형, 본체 부착	(주)솔탑, KMSL 탑재, 연세대 큐브위성 탑재
		본체 배터리 설계 및 제작(구매)	-	-	미보유	-	○	~100WH	-
		본체 전력제어기 설계 및 제작(구매)	-	-	미보유	-	○	~수십 W 태양전지, MPPT	-
비행 소프트 웨어계	비행 소프트 웨어	비행소프트웨어 설계, 코드 개발 및 초기접속 시험, 코드 장기 성능 시험	6	9	보유	○	-	cFS	SNIFE CFS, 다양한 비행소프트웨어 개발 필요
원격 측정 명령계	원격측정명령	본체 원격측정명령계 설계 및 제작	9	9	보유	○	-	AT91SAM9, 256MB RAM, 256MB NAND flash, CAN, I2C, SPI, UART	(주)나라스페이스. NASA SOA 문서
추진계 (필요시)	추력기	초소형위성용 추력기 개발	2	4	스페이스 챌린지 사업 진행중	-	○	~수십 mNr급	(주)솔탑에서 연구중임, SNIFE에서도 구매했음

□ 국내 기술준비수준(3): 소형위성체

표 3-15 [국내 소형위성체 관련 기술준비수준]

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL [현재]	TRL [목표]	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
열구조계	구조계	발사환경 및 운영환경에서의 구조적 강건성을 갖는 본체 구조물 설계	9	9	보유	○	-	-	차세대소형위성, 차세대중형위성, 다목적 위성, 국방위성, 미래도전기술개발사업 등 기존 위성사업을 통해 확보된 기술을 통해 국내주도 구현 가능, 산업체 관련 기술 보유
	열제어	발사환경에서의 열적 안정성을 갖는 본체 구조물 설계	9	9	보유	○	-	-	차세대소형위성, 차세대중형위성, 다목적 위성, 국방위성, 미래도전기술개발사업 등 기존 위성사업을 통해 확보된 기술을 통해 국내주도 구현 가능, 산업체 관련 기술 보유
		궤도 열해석을 통한 본체 시스템 열적 특성 분석 및 안전성 확보	9	9	보유	○	-	-	차세대소형위성, 차세대중형위성, 다목적 위성, 국방위성, 미래도전기술개발사업 등 기존 위성사업을 통해 확보된 기술을 통해 국내주도 구현 가능, 산업체 관련 기술 보유
자세 제어계	자세결정	본체 태양센서 설계, 제작 및 성능 평가	9	9	보유	○	-	-	썬트랙아이 등 국내기업 관련 기술확보 큐브위성용으로 개발된 사례 존재하나 궤도상에서의 임무실패로 충분한 헤리티지가 있는 것으로 볼 수는 없음
		본체 별센서 설계, 제작 및 성능 평가	9	9	보유	○	-	-	인공위성연구소 차세대소형위성 1호용 별추적기 국내개발 등 비행이력 보유
		본체 지자기센서 설계, 제작 및 성능 평가	9	9	보유	○	-	-	센서피아 등 3축 Magnetometer 제작기술 및 비행이력 보유, 다누리 위성 자기장 측정기 개발 이력 보유

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
	자세제어	본체 GPS 수신기 설계 및 제작	9	9	보유	○	-	-	인공위성연구소 소형위성용 자체개발 GPS 수신기 보유 (주)텔에이스 등 큐브위성용 GPS 수신기 공동개발 (서울대학교 큐브위성 탑재)
		본체 자이로스코프 설계 및 제작	9	9	보유	○	-	-	차세대소형위성 1호 우주핵심기술검증 광파이버 자이로스코프 기반 가속도 및 각속도 측정장비 개발(파이버프로사) (주) 저스텍에서 성능검증위성용 CMG 및 휠 개발이력 토대 개발 역량보유
		본체 반작용휠 설계 및 제작	7	9	일부보유	○	○	-	(주) 모멘텀스페이스 등 소형휠 개발하였으나 비행이력 헤리티지는 없음 임무성공을 위해 비행이력이 충분히 검증된 휠 사용이 권장됨.
		본체 자세제어 알고리즘 개발 및 프로세서 제작	9	9	보유	○	-	-	세트렉아이, 인공위성연구소를 비롯해 대학에서 충분한 기술보유
통신계	통신계	본체 S밴드 Link Budget Analysis	9	9	보유	○	-	-	위성개발 기관에서 자체적으로 수행 가능
		본체 S밴드 송수신기 설계, 제작 (구매) 및 성능 측정	9	9	보유	○	-	-	(주) AP 위성 등 국내기업 S-밴드 송수신기 설계 및 제작기술 보유하였으며 성능검증위성 등을 통해 비행이력 확보
		본체 S밴드 안테나 설계, 제작(구매) 및 빔 측정	9	9	보유	○	-	-	국내 정부출연기관 및 산업체엿 설계 및 제작기술 확보하고 있으며 비행이력도 있기에 국내주도 개발 가능

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
전력계	전력계	본체 태양전지판 설계 및 제작	9	9	보유	○	○	-	(주) CAEST에서 레이다운 기술보유. 현재 민군기술협력과제로 태양전지판 개발 과제 수행중
		본체 배터리 설계 및 제작(구매)	9	9	보유	○	○	-	배터리는 100% 해외 도입으로 진행됨. 큐브위성용으로 TRL6 이상 개발 사례는 없고 개발 및 검증비용을 고려하여 해외 제품을 도입하여 적용
		본체 전력제어기 설계 및 제작(구매)	9	9	보유	○	-	-	(주) 세트랙아이에서 전력제어기 설계 및 제작기술보유하고 있으며 비행이력도 있음
비행 소프트 웨어계	비행 소프트 웨어	비행소프트웨어 설계, 코드 개발 및 초기접속 시험, 코드 장기 성능 시험	9	9	보유	○	-	-	소형위성, 중대형 위성에서 충분히 검증된 기술 확보되어 있으며 비행이력 확보되어 있음
원격 측정 명령계	원격측정명령	본체 원격측정명령계 설계 및 제작	9	9	보유	○	-	-	소형위성, 중대형 위성에서 충분히 검증된 기술 확보되어 있으며 비행이력 확보되어 있음
추진계 (필요시)	추력기	초소형위성용 추력기 개발	6	9	일부보유	○	○	-	임무의 중요성과 비용, 개발기간을 고려시 국내개발 보다는 충분한 헤리티지가 있는 해외 구성품 도입 필요

□ 국내 기술준비수준(4): 지상국

표 3-16 [국내 지상국 관련 기술준비수준]

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
지상국 체계종합	지상시스템 체계종합 및 접속설계 기술	지상시스템 설계 기술	6	7	보유	○	-	-	아리랑위성/천리안위성 지상국 기 개발 기술 응용
		지상시스템 체계종합 기술	6	7	보유	○	-	-	
	지상시스템 구축 및 시험검증 기술	지상시스템 설계 기술	6	7	보유	○	-	-	
		지상시스템 시험 검증 기술	6	7	보유	○	-	-	
지상국 관제 시스템	지상소프트웨 어 체계종합 및 접속설계 기술	지상소프트웨어 설계 기술	6	7	보유	○	-	-	
		지상소프트웨어 체계종합 기술	6	7	보유	○	-	-	
	지상소프트웨 어 구축 및 시험검증 기술	지상소프트웨어 구축 기술	6	7	보유	○	-	-	
		지상소프트웨어시험 검증 기술	6	7	보유	○	-	-	
	위성운영 소프트웨어 기술	위성 명령어 생성 기술	6	7	보유	○	-	-	
		위성 명령 전송 기술	6	7	보유	○	-	-	

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
지상국 관제 시스템		위성 텔레메트리 처리 기술	6	7	보유	○	-	-	아리랑위성/천리안위성 지상국 기 개발 기술 응용
		위성 텔레메트리 분석 기술	6	7	보유	○	-	-	
	임무계획 기술	위성 임무스케줄 Conflict 체크 기술	6	7	보유	○	-	-	
		위성 임무계획 기술	6	7	보유	○	-	-	
	비행역학 기술	위성 연료량 계산 기술	6	7	보유	○	-	-	
		위성 궤도결정 기술	6	7	보유	○	-	-	
		위성 궤도기동 계획 기술	6	7	보유	○	-	-	
		위성 위치예측 및 전파 기술	6	7	보유	○	-	-	
		위성 충돌 영향 평가 기술	6	7	보유	○	-	-	
		우주환경(태양/달/지 구 식) 예측 기술	6	7	보유	○	-	-	
	지상 안테나 제어 및 모니터링 기술	지상안테나 스케줄링 기술	6	7	보유	○	-	-	
		제상안테나 제어 기술	6	7	보유	○	-	-	
		지상안테나 모니터링 기술	6	7	보유	○	-	-	

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
자료처리 시스템	자료처리시스 템 체계종합 및 접속설계 기술	자료처리시스 템 설계 기술	6	7	보유	○	-	-	아리랑위성/천리안위성 지상국 기 개발 기술 응용
		자료처리시스 템 체계종합 기술	6	7	보유	○	-	-	
	자료처리시스 템 구축 및 시험검증 기술	자료처리시스 템 구축 기술	6	7	보유	○	-	-	
		자료처리시스 템 검증 기술	6	7	보유	○	-	-	
	자료제품관리 시스템 기술	빅데이터 저장 및 관리 기술	6	7	보유	○	-	-	
	자료 검보정 기술	자료처리 후 검보정 기술	6	7	보유	○	-	-	
	자료주문관리 시스템 기술	주문관리 기술	6	7	보유	○	-	-	
안테나 (송수신) 시스템	안테나 (송수신) 체계종합 및 접속설계 기술	안테나 (송수신 설계 기술)	6	7	보유	○	-	-	
		안테나(송수신 체계종합 기술)	6	7	보유	○	-	-	
	안테나(송수신 구축 및 시험검증 기술	안테나(송수신 구축 기술)	6	7	보유	○	-	-	
		안테나(송수신 시험 검증 기술)	6	7	보유	○	-	-	
		안테나 구동 및 제어 기술	6	7	보유	○	-	-	
	위성추적기술(모노 펄 스트래킹, Table Track등)	6	7	보유	○	-	-		

Level1	Level2	Level3	기술수준평가			기술확보방안		Description	비고
			TRL (현재)	TRL (목표)	국내기술 보유여부	국내 독자/주도	해외도입		
안테나 (송수신) 시스템	통신 변복조 기술	안테나 위성통신 변조 기술	6	7	보유	○	-	-	아리랑위성/천리안위성 지상국 기 개발 기술 응용
		안테나 위성통신 복조 기술	6	7	보유	○	-	-	
	RF 주파수 변환기 설계 기술	RF 설계 기술	6	7	보유	○	-	-	
		RF 모뎀	6	7	보유	○	-	-	
		인터페이스 기술	6	7	보유	○	-	-	
		RF 주파수 변환 기술	6	7	보유	○	-	-	
		RF 전력모듈 기술	6	7	보유	○	-	-	
		IF 인터페이스 기술	6	7	보유	○	-	-	
	수신시간 및 주파수 동기 기술	안테나 수신 시간/주파수 오프셋 추정 및 보상 기술	6	7	보유	○	-	-	
	LNA(저잡음증 폭기) 기술	저잡음증폭기 설계 기술	6	7	보유	○	-	-	
	모뎀 제어 기술	모뎀 제어 기술	6	7	보유	○	-	-	
		변복조 기술	6	7	보유	○	-	-	
		부복호 기술	6	7	보유	○	-	-	
	전력 증폭기 기술	고출력/고효율 PA 칩 기술	6	7	보유	○	-	-	
		PA 전원용 레귤레이터 기술	6	7	보유	○	-	-	
		Power Conbiiner 기술	6	7	보유	○	-	-	
Power Coupler 기술		6	7	보유	○	-	-		

3.5. 국내 개발 가능성 검토 결과

- 국내 소형위성급 개발은 주로 연구기관에서 체계개발을 주도하였고, 최근 뉴스페이스 시대의 도래와 함께 우주인증 헤리티지를 확보하는 산업체도 점차 증가하고 있는 추세임
- 국내에서 처음 시도되는 온실가스 감시 근적외 초분광 탐측기의 경우는 체계개발을 통해서 임무설계, 탑재체 설계, 위성체 설계, 제작 및 시험, 환경시험, 위험관리 등이 면밀히 수행되어야 함
 - 연구기관에서 인증 모델 개발을 통하여 국내 관련 산업체의 참여 유도 및 발굴을 통해 헤리티지를 확보하는 것이 필요함
- 초분광 광학탑재체의 개발을 위한 국내 산업체의 역량과 기술준비수준이 많은 기술요소에서 TRL6 이상 확보가 되었기에 연구개발을 통해 국내 개발 가능성 높음
 - 일부 분광기를 구성하는 회절격자, 슬릿 등 광학요소들과 근적외 검출기의 경우 단기적으로 해외 도입이 불가피함
- 개념설계를 통하여 필요한 위성체의 크기를 결정하는 것이 우선 필요함
 - 소형위성으로 개발될 경우, 대부분의 기술요소에서 우주인증이 완료된 상태인 만큼 국내개발 가능성 매우 높음
 - 초소형위성은 개발이 충분히 가능하지만, 충분한 예산과 개발 기간이 필요함
- 지상국의 운용은 그동안 많은 위성개발에 적용되어 왔기 때문에 비교적 TRL이 높은 상태임

4. 종합 및 시사점

4.1. 개발목표

표 3-17 [개발목표 및 범위]

항 목	개발 범위	
체계종합	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임무 설계 ○ 시스템 인증모델 열진공 및 진동 우주환경시험 ○ 인증모델 체계 일정/인력/예산/품질/위험 관리 ○ 발사체 선정, 발사 및 운용 	
탑재체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초분광 탑재체 인증모델 설계 및 제작 ○ 초분광 탑재체 인증모델 성능 시험 및 검교정 ○ 검출기 구동 및 처리 전자부 개발 ○ 산출 알고리즘 개발 	
위성체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성 본체 인증모델 개발 및 시험 ○ 원격측정 명령계 ○ 비행소프트웨어 개발 ○ 전력계 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열구조계 ○ 자세제어계 ○ 통신계 ○ 추진계(필요시)
지상국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지상국 운용 ○ 자료처리 소프트웨어 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비행임무 소프트웨어 ○ 지상 안테나 시스템

4.2. 소요 기술 및 현황

표 3-18 [소요 기술 및 현황]

연구 대상 분야	구성품	소요기술	기술보유여부
체계종합	임무설계	본체 설계 및 해석 기술	확보
	시험 및 검증	시험 및 검교정 기술	확보
	발사 인터페이스	발사관 기술	확보
탑재체	초분광 근적외 탐측기	광학계 설계 및 정렬 기술	부분 확보
	초분광 근적외 탐측기	센서 구동 기술	확보
위성체	열구조계	구조 및 열제어 기술	확보
	비행소프트웨어계	비행소프트웨어 기술	확보
	원격측정 명령계	원격측정명령기술	확보
	자세제어계	자세 결정 및 제어 기술	확보
	통신계	통신계 기술	확보
	전력계	전력계 기술	확보
	추진계 (필요시)	추력기 기술	미확보
지상체	지상국 소프트웨어	지상국 소프트웨어 기술	확보
	자료처리 소프트웨어	초분광 영상 처리 기술	미확보

4.3. 국내 관련 산학연 현황 및 기술준비수준

표 3-19 [국내 관련 산학연 현황 및 기술준비수준 주요 내용 및 시사점]

<p>1. 공공연구기관 주도로 개발된 초소형위성의 경우 기술개발에 성공함</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ 한국천문연구원, KAIST 인공위성연구소와 같이 관련 기술에 대한 경험 및 노하우를 보유하고 있고 안정적이고 지속적인 연구가 가능한 연구기관 주도로 개발된 초소형위성의 경우 기술개발에 성공 - 대학의 경우 큐브 위성 경연대회를 중심으로 초소형 위성 개발을 위한 다양한 시도 등 초기 단계 수준 - 기업의 경우에도 주로 부분체 부품 개발을 수행하여 독자적 임무 개발 및 시스템 설계·해석 경험 이 부족한 상황 (R&D 역량 낮음) - 이는 특정 임무를 가지는 초소형 위성 기술개발의 난이도가 의외로 높아서, 체계개발 경험이 적은 기초연구 중심의 대학 및 민간이 참여하기에는 한계가 있음을 의미함 - 이러한 점은 뉴 스페이스 시대의 딜레마 중 하나라고 볼 수 있음
<p>2. 해외 주요국의 경우에도 공공연구기관을 중심으로 기술을 개발하여 민간에 개방하는 방식 채택</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국: NASA 초소형 위성 프로젝트 수행을 통해 참여 연구원들이 민간 초소형 위성 기업 창업 ○ 일본: JAXA 전문가들이 민간 산업체, 스타트업의 기술 지원을 수행하는 경우가 많으며, 세계 최소 우주쓰레기 청소 위성 스타트업인 Astroscale사도 JAXA 전문가들이 일부 합류하여 기술적인 자문과 지원 ○ 유럽: ESA는 2014년부터 초소형 위성 프로젝트를 시작하였으며, 기관에서는 임무를 개발하고 이를 유럽 내 초소형 위성 업체에게 위성체 개발을 맡기는 방식을 통해 민간 기업을 지원, 육성하였음
<p>3. 우리나라의 경우에도 초소형 위성 기술개발 초기 단계의 경우 민간 보다는 공공영역을 중심으로 개발하는 것이 바람직</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ 이 과정에서 공공은 초소형 위성에 적합한 우주환경시험 연구·제공, 관련 기술 교류·동향 파악을 위한 세미나 운영, 유망인력 공급 등 기반 조성 등을 민간에 제공할 수 있음 - 또한, 공공영역 또는 연구기관에서 초소형 위성의 체계 사업을 통해 인증모델의 헤리티지를 확보하고, 민간 산업체에 기술 이전하는 추진전략이 필요함
<p>4. 국내 개발 가능성</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내에서 처음 시도되는 온실가스 감시 근적외 초분광 탐측기의 경우는 연구기관에서 인증 모델을 체계 개발을 수행하고, 국내 관련 산업체의 참여 유도 및 발굴을 통해 헤리티지를 확보하는 것이 필요함 ○ 초분광 광학탐재체의 개발을 위한 국내 산업체의 역량과 기술준비수준이 많은 기술요소에서 TRL6 이상 확보가 되었기에 연구개발을 통해 국내 개발 가능성 높음. 하지만, 일부 분광기를 구성하는 광학요소들과 검출기의 경우 단기적으로 해외 도입이 불가피함 ○ 비교적 경험이 풍부한 소형 위성으로 개발될 경우, 대부분의 기술요소에서 우주인증이 완료된 상태인 만큼 국내 개발 가능성 매우 높지만, 초소형 위성으로 개발될 경우 충분한 예산과 우주인증을 위한 충분한 개발 기간이 필요함

IV. 온실가스 감시 초소형기상위성 개발 방안 분석

1. 비전 및 목표
2. 추진전략
3. 중점분야별 핵심기술 개발 계획
4. 기술개발 로드맵
5. 활용 방안
6. 소요예산 및 기대효과

IV. 온실가스 감시 초소형기상위성 개발 방안 분석

1. 비전 및 목표

그림 4-1 [온실가스 감시 초소형기상위성 개발의 비전 및 목표]

비전	국내 초소형위성 산업 활성화 및 글로벌 위성시장 선도
목표	탄소중립 2050 실현 정책과 뉴스페이스 시대에 동시에 부합하는 온실가스 감시 초소형기상위성 개발

추진 단계	1단계(4년)	2단계(3년)	3단계(3년)	민간 양산체계 전환
	관 주도 체계 인증모델 개발	관 주도 체계 비행모델 개발	민간 기술이전 편대 운영/ 비행모델 개발	민간 주도형 위성 양산, 정부 구매
성과 목표	탐재체, 위성체, 지상국, 활용기술 국산화		성능개선/안정화 및 민간 주도형 양산 체계 구축	

중점분야 및 핵심기술	중점분야	핵심기술
	체계종합	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임무 설계 ○ 시스템 인증모델 열진공 및 진동 우주환경시험 ○ 인증모델 체계 일정/인력/예산/품질/위험 관리 ○ 발사체 선정, 발사 및 운용
	탐재체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초분광 탐측기 광학 및 광기계부 설계 및 해석 ○ 초분광 탐측기 광학 및 광기계부 제작 및 측정 ○ 초분광 탐측기 광학계 조립/정렬 및 성능 시험 ○ 검출기 구동 및 처리 전자부 개발 ○ 산출 알고리즘 개발
	위성체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성 본체 인증모델 개발 및 시험 ○ 원격측정 명령계 ○ 비행소프트웨어 개발 ○ 전력계 ○ 열구조계 ○ 자세제어계 ○ 통신계 ○ 추진계(필요시)
	지상체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지상국 운용 ○ 비행임무 소프트웨어 ○ 자료처리 소프트웨어 ○ 지상 안테나 시스템

2. 추진전략

□ SWOT 분석을 통한 추진전략 도출

- 초소형위성 개발 관련 정책·산업·시장 및 기술개발 동향과 트렌드 변화를 분석하고 국내 내부 연구역량을 고려한 SWOT 분석을 통해 추진전략 도출

그림 4-2 [SWOT 분석을 통한 추진전략 도출]

<ul style="list-style-type: none"> ■ (기회 1) 기후위기 시대 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 지원하고 탄소중립 사회로의 이행을 위한 온실가스 감시 초소형위성의 중요성이 증대 ■ (기회 2) 우주·위성산업 트렌드 변화에 따라 다양한 산업·기술이 융합된 신산업 육성을 위한 초소형 위성개발 신기술 수요 증대 ■ (기회 3) 정부는 우주강국 도약 및 우주시대 개막을 목표로 미래 우주분야 핵심 경쟁력 확보와 민간 중심 우주산업 활성화를 통해 세계 7대 우주강국으로 도약 목표를 제시하는 등 우주·위성산업 육성 관련 법·정책 수립 등 강한 R&D 사업 추진 의지 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (위협 1) 우주분야 국가 R&D 예산은 '20년 약 6,158억원 규모(1992년 약 22억원의 280배)로 증가 추세에 있으나, 주요 우주 선진국에 비해 여전히 낮은 수준 ■ (위협 2) 최근 우주개발의 추세가 민간기업의 참여가 확대 New Space 시대로 전환되고 있으나 국내의 경우 아직 민간의 역할이 충분하지 못함 ■ (위협 3) 위성 시스템 개발기술을 확보하였으나, 탑재체, 핵심부품, 소재 국산화는 아직 미흡한 수준 								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td colspan="2">동 사업이 관련 외부환경 이슈</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">T</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S</td> <td style="text-align: center;">W</td> </tr> <tr> <td colspan="2">동 사업이 고려해야 하는 내부역량</td> </tr> </table>		동 사업이 관련 외부환경 이슈		O	T	S	W	동 사업이 고려해야 하는 내부역량	
동 사업이 관련 외부환경 이슈									
O	T								
S	W								
동 사업이 고려해야 하는 내부역량									
<ul style="list-style-type: none"> ■ (강점 1) 소형위성 분야 정부R&D는 우주과학 및 부품 검증을 위한 소형위성의 안정적 확보와 국가안보 및 재난 대응을 위한 초소형위성 개발에 투자를 확대하는 추세 ■ (강점 2) 한국천문연구원 등 공공연구기관을 중심으로 초소형 위성 개발 관련 연구기관 및 전문연구인력 등 국내 R&D 수행 인프라 역량 충분 ■ (강점 3) 국내 위성관련 기업의 경우 위성체, 지상국을 중심으로 높은 기술수준 보유 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (약점 1) 탑재체 관련 국산화 기술 등 핵심 요소 기술 부재 ■ (약점 2) 국내 우주관련기업(약 390여개) 중 우주 매출 1000억 이상 기업이 2개, 100억 이상은 14개에 불과하고 전체 기업의 66%가 매출액 10억 미만임(2022년 8월 기준) ■ (약점 3) 국내 우주 총생산(약 3.4조원)은 국내 GDP의 0.2%, 세계 우주시장의 1%에도 못 미치는 수준 								

그림 4-3 [SWOT 분석을 통한 주요 전략 추진방향 도출]

		O(기회)	T(위협)
		외부요인	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립 사회로의 이행을 위한 온실가스 감시 초소형위성의 중요성이 증대 신산업 육성을 위한 초소형 위성개발 신기술 수요 증대 정부의 관련 정책 수립 등 강한 R&D 사업 추진 의지
내부요인			
S(강점)	SO 전략 추진방향	ST 전략 추진방향	
<ul style="list-style-type: none"> 국가안보 및 재난 대응을 위한 초소형위성 개발에 정부 R&D 투자 확대 추세 공공연구기관을 중심으로 국내 R&D 수행 인프라 역량 보유 국내 위성관련 기업들은 위성체, 자상국을 중심으로 높은 기술수준 보유 	<ul style="list-style-type: none"> 날로 변화하는 우주기술 변화에 적극 대응하고, R&D 산출물의 품질을 철저히 사전 검증할 수 있도록 단계별 추진 정부의 적극적인 투자 및 제도적 기반을 활용한 초소형위성 개발로 글로벌 시장에 대응 국내 초소형위성개발 R&D 역량을 활용한 신속 효율적인 기술개발로 산업 분야의 경쟁력 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 국산기술 개발보급 활성화를 위한 표준화 및 국산기술 마련으로 국내 기업 외산의존도 저감 국내 우주위성개발산업의 R&D 역량을 활용하여 신산업 분야의 활용 기술 개발을 통해 성장동력 확보 기업 수요 맞춤형 기술개발을 통해, 다양한 수요 분야의 新 서비스 창출을 견인하고 글로벌 시장경쟁력 강화에 기여 	
W(약점)	WO 전략 추진방향	WT 전략 추진방향	
<ul style="list-style-type: none"> 탑재체 관련 기술 등 핵심 요소 기술 부재 국내 우주관련기업은 매출액, 보유인력 등 고려 영세한 실정 국내 우주 총생산(약 3.4조 원)은 국내 GDP의 0.2%, 세계 우주시장의 1%에도 못 미치는 수준 	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 활용 등 신산업 분야에 대한 기술개발로 국내 위성 관련 기업의 활성화 우주위성시장의 성장에 발맞춘 공공 주도의 R&D 사업추진을 통한 공간정보 기술수준 향상으로 글로벌 기술 우위 선점 관련 기업들과의 원활한 사전 조율로 공공 DB 연계 공유를 위한 추진 체계 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 초소형위성 분야의 기술 개발 역량 확보를 통한 공간정보 기술의 국산화로 경쟁력 확보 기술개발 및 관련 데이터 연계 공유를 위한 다양한 협력 네트워크 구축 유관기관/기업들과의 긴밀한 협조를 통한 기술개발 국산화 체계 고도화 	

- 추진전략: 시장 및 기술 변화 등을 고려하여 단계별로 추진하고, 민간 참여 적극 활용
- 핵심기술 국산화를 통해 해외 경쟁력을 높이고, 다양한 민간참여를 통해 비즈니스 모델 창출 등 생태계 조성

표 4-1 [온실가스 감시 초소형기상위성개발 추진전략]

추진전략	세부기술	
단계별 추진 및 세부 내용*	○ 단계별 개발을 통한 성능개선/안정화 추구 및 민간 주도형 양산 체계 구축 · 초분광 근적외 분광기 (weak-CO ₂ , strong-CO ₂ , O ₂ -A) · (1단계_인증모델) 소형위성급 < 80kg, 산출오차 < 3ppm, · (2단계_비행모델) 위성체 경량화, 산출오차 개선 < 1ppm · (3단계_편대운영) 초소형위성 성능개선, 산출오차 최적화 < 1ppm ※ 산·학·연 온실가스관측 초소형위성 개발 전문가 그룹 구성 및 운영	
	1단계 QM** (4년)	[관 주도 체계 인증모델 개발] · 산출오차 < 3ppm (밝은 흡수선 검증관측) · 소형위성급 (<80kg) 개발/발사 성능검증 · 탑재체 센서 검증을 위한 인프라(검보정 시설환경 구축 및 운영) · 산출 알고리즘 개발(분광 복사위치검보정, 에어로졸구름 영향제거 등)
	2단계 FM*** (3년)	[관 주도 체계 비행모델 개발] · 산출오차 개선 < 1ppm · 위성체 경량화 마이크로 초소형위성급 개발/발사 성능검증 · 산출 알고리즘 개선(오차유발 불확실성 핵심 요소별 기능개선)
	3단계 FM (3년)	[민간 기술이전 편대 운영/비행모델 개발] · 산출오차 최적화 < 1ppm · 마이크로 초소형위성급 성능개선 및 발사 · 산출 알고리즘 최적화 · 편대 운영/비행 알고리즘 개발 및 개선
	민간 양산체계 전환	[민간 주도형 위성 양산체계 전환, 정부 구매] · 산출오차 < 1ppm · 마이크로 초소형위성급 발사 · 산출 알고리즘 적용 · 편대 운영/비행 알고리즘 적용
핵심기술 국산화	○ 탑재체, 위성체, 지상국, 활용기술 국산화 개발 추진 - 탑재체: 온실가스(CO ₂) 관측용 초분광 근적외 탐측기 - 위성체: 최초 소형위성급에서 단계별 위성체 경량화 개발 - 지상국: 위성 관제 및 자료 수신/처리, 전지구 자료 해외협력 - 활용기술: 한반도 최적화 온실가스 산출 알고리즘 개발 및 시공간 변동성 감시	

<p>다양한 민간 참여·확산</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발 초기 현재 TRL 수준이 상대적으로 높은 탑재체, 위성체, 지상국 관련 민간 업체 적극 참여 ○ 향후 기술개발 완료 시 민간 주도형 초소형 위성 양산, 정부 구매
<p>기존 연구 연계 활용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소형위성 관련 기존 선행연구 결과를 본 사업에 연계·활용 ○ 타부처 유사사업 결과 연계
<p>세부 개발 방안 마련</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실가스 감시를 위한 초소형 기상위성 개발 전략 정책연구 추진(2023.6. ~ 2023.12.) <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 초소형위성 정책환경 및 미래전망 분석 - 온실가스 초소형 위성 개발을 위한 국내외 조사 및 사용자 요구사항 도출 - 온실가스 감시 초소형위성 개발 중기발전방향 제시 ○ 초소형 위성 탑재를 위한 초분광탐측기 분석 기획연구(2023.8.~2024.3.) <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 초소형위성 탑재체 개발 및 국내외 협력가능 기관의 기술현황 분석 - 온실가스 감시를 위한 초소형위성 탑재체 국산화 개발 사전연구

* 본 정책보고서에 제시된 개발기간은 추후 변동 가능함

** QM: 인증모델 (Qualification Model)

*** FM: 비행모델 (Flight Model)

3. 중점분야별 핵심기술 개발 계획

3.1. 중점분야 (1): 체계종합

□ 개요 및 목표

표 4-2 [체계 종합 개발의 개요 및 목표]

개요	○ 온실가스 감시 초소형위성/소형위성 개발
목표	- 온실가스 감시 초소형위성체 또는 소형위성체 개발 - 온실가스 감시 근적외 초분광 탑재체 개발 - 시스템 우주환경 시험 및 인증 - 지상국 개발 및 운용

□ 기술구성

표 4-3 [체계 종합 개발의 기술구성]

핵심기술	세부기술
체계종합 개발	○ 발사환경, 우주환경에서의 구조적, 열적 강건성을 갖는 본체 구조물 설계
	○ 구조해석을 통한 본체 시스템 구조적 특성 분석 및 안전성 확보
	○ 본체 구조물중 전개형 부품을 위한 구동부, 지지부 설계 및 제작
	○ 체계 일정/인력/예산/품질/위험 관리
시험 및 검교정	○ 시스템 검교정
	○ 본체 시스템 수준에서의 궤도환경 검증시험
	○ 본체 시스템 수준에서의 발사환경 검증시험
	○ 본체 시스템 수준에서의 사출환경 검증시험
발사관 기술	○ 초소형위성 발사관 기술

□ 현 상태 및 기술적 접근방법

- 뉴 스페이스 시대의 초소형위성 개발현황 및 접근방안
 - (현황) 비교적 적은 예산으로 빠른 개발과 발사 목표를 위해 시험과 검증에 많은 비용을 투자하지 않고, 실패 시 원인 파악 후 다시 발사하는 개념
 - (접근) 온실가스 감시 초소형위성 또는 소형위성은 정밀한 초분광 탑재체로 임무를 수행하기 때문에 목표를 달성하기 위해서는 체계종합개발이 필요함
- 국내 위성개발에서 체계종합 개발의 경험이 있는 한국천문연구원, 한국항공우주연구원, 인공위성연구소와 같은 연구기관에서 개발을 주도할 필요가 있음
- 체계개발을 통해서 임무설계, 탑재체 설계, 위성체 설계, 제작 및 시험, 환경시험, 위험 관리 등이 면밀히 수행되어야 함

- 초분광 탑재체의 요구사항을 초소형위성급으로 만족시키지 못할 경우를 대비하여, 초소형위성급 임무 설계도 고려해야 함
 - 충분한 예산으로 우주인증 부품을 사용할 수 있다면, 초소형위성으로도 임무 달성이 가능함
 - 높은 TRL이 확보된 (초)소형위성체의 경우, 해외 도입하고 초분광 탑재체 국산화 개발에 집중하는 방안도 좋은 전략으로 보임
- 단계별 체계 개발 추진 방안(안)
 - 1단계 인증모델 (4년): 관 주도 인증모델 개발 및 기술검증
 - 2단계 인증모델 (3년): 관 주도 비행모델 개발
 - 3단계 인증모델 (3년): 관 참여 및 민간 기술 이전 편대 비행모델 개발
 - 민간 양산체계 전환: 민간 주도형 양산, 정부 구매

3.2. 중점분야 (2): 탑재체

□ 개요 및 목표

표 4-4 [탑재체 개발의 개요 및 목표]

개요	○ 온실가스 감시용 초분광 탑재체 개발
목표	- 과학임무 요구사항 분석 - 근적외 탑재체 광학계 개발

□ 기술구성

표 4-5 [탑재체 개발의 기술구성]

핵심기술	세부기술
광학계 설계 및 정렬 기술	○ 초분광 근적외 분광기 광학설계 및 광기계부 설계
	○ 광학계 성능을 극대화하는 가공, 조립 및 정렬 기술
	○ 광학요소 가공 및 가공 후 우주환경에서 재료의 소재 특성유지 및 2차 변형을 예방하고 구조계를 조립하는 기술
	○ 시스템 검교정 기술
센서 구동 기술	○ 검출기 독립 제어 및 영상획득 기술
	○ FPGA를 이용한 고속 디지털 하드웨어 설계/제작 기술
	○ 대용량 영상획득 및 고속 Data Link 시스템 적용을 위한 기술
	○ 실용급 및 중형급 위성 탑재체 개발에서 확보된 기술을 적용

□ 현 상태 및 기술적 접근방법

- 국내 위성개발에서 과학기술위성 시리즈와 차세대소형위성 시리즈를 통해서 천문(연)에서 근적외선 영상시스템, 영상분광시스템의 경험은 다수 확보하고 있음
 - 쉐트랙아이, 한화시스템 등 소형위성급 헤리티지를 다수 확보한 상태
 - 광학탐재체 설계, 광학계 요소들의 가공, 구조부 설계/제작은 국내 기술준비수준이 대부분 TRL7-8에 도달하고 있음
 - 하지만, 분광기를 구성하는 회절격자/프리즘, 슬릿의 정밀가공, 분광부 정렬들은 아직 TRL6 도달하지 않은 상태임
 - 따라서, 회절격자, 슬릿 등의 분광기 구성 요소들은 해외에서 도입하고 조립 및 정렬은 개발을 수행하면서 TRL을 높이는 전략이 적절함
 - 분광방식을 결정함에 있어 성능 대비 데이터 처리의 난이도를 고려할 필요 있음
 - 고해상도 분광분해능을 위해서는 통상적으로 간섭계 방식(Fabry-Perot)을 사용하나, GHGSat 경우에는 촬영하면서 분광을 하는 경우로서 데이터 추출에 매우 복잡한 처리 알고리즘이 요구됨
 - Fabry-Perot 간섭계는 좁은 영역의 이산화탄소 검출에는 유리하나 넓은 영역의 촬영 시 가시광 영상촬영이 필수적으로 요구되므로, 분광방식의 결정에 있어서 이러한 단점이 참작되어야 함
 - 분광기의 경우 초점면만 운용 환경에 맞게 정확히 조립·정렬하면 추후 별도로 조정해야하는 무빙 파트가 없고 데이터 처리가 직관적이라는 장점들과 더불어, 비교적 저예산으로 개발이 시도되는 초소형위성 또는 소형위성용으로 높은 이점이 있으므로, 회절격자 분광기 타입을 제언함
 - 과학 요구사항이 현 상황에서 구체적으로 정의가 되지 않은 상태이므로, ‘2.3절 초소형위성 기본 사양 도출’에서는 위성운영 고도, GSD와 같은 변수들을 일부 가정하였음
 - 현재 수행 중인 『2023년 위성기반 탐측기 센서특성분석 및 영향도 평가연구 (기획연구)』에서 과학 요구사항과 위성운영 변수들이 구체화될 것으로 예상됨
 - SWIR 검출기 개발은 단기, 중장기적인 관점의 기술개발 및 접근전략이 필요함
 - 초분광 탐재체의 개념설계와 광학 사양을 결정하기에 앞서 SWIR 검출기가 우선적으로 결정되어야 함
 - SWIR 근적외 검출기의 경우, 국내 기업(i3시스템 등)에서 제품을 선보이고 있지만, 온실가스 검출은 높은 정확도로 목표로 하고 있기 때문에 검증이 필요함
- ※ i3시스템에서 차세대 센서인 eSWIR 센서를 T2SL기반으로 개발 중임

- 단기적인 측면에서는 해외의 센서를 도입하고, 중/장기적인 측면에서는 eSWIR센서를 개발하여 사용하는 것을 고려할 수 있음

※ eSWIR센서는 0.9 ~ 2.3 μm 를 감지할 수 있어 이산화탄소 검출에 매우 적합함

- 단기적인 측면에서는 Teledyne社의 제품과 같은 해외 검증된 검출기를 도입하는 방안이 가장 적합함

※ Teledyne社는 우주용으로 검증된 고성능의 H2RG 센서를 제공하고 있음. 18 μm 크기의 화소를 2048 x 2048로 가지고 있어 광학설계를 최적화할 경우 넓은 면적을 관측할 수 있음. 이에 더해 Lynred社의 Staring array NGP SW와 CORBRA 제품도 고려할 수 있음. 이들 제품은 Airbus사의 광학탑재체에 탑재되어 활용되어 성능과 우주용으로 검증된 바 있음

○ 단계별 탑재체 개발 추진 방안(안)

- 1단계 인증모델 (4년): 초분광 근적외 분광기(weak-CO₂, strong-CO₂, O₂-A 동시 관측), 산출오차 < 3ppm (밝은 흡수선 위주 검증관측), 산출 알고리즘 개발, 관 주도 및 민간 참여
- 2단계 인증모델 (3년): 산출오차 < 1ppm, 산출 알고리즘 개선, 관 주도 및 민간 참여
- 3단계 인증모델 (3년): 산출오차 < 1ppm, 산출 알고리즘 개선, 관 참여 및 민간 기술 이전
- 민간 양산체계 전환: 민간 주도형 양산, 정부 구매

3.3. 중점분야 (3): 위성체

□ 개요 및 목표

표 4-6 [위성체 개발의 개요 및 목표]

개요	○ 온실가스 감시용 초소형위성체 개발
목표	- 초분광 탑재체의 관측 요구사항을 만족시키는 (초)소형위성 본체 개발

□ 기술구성

표 4-7 [위성체 개발의 기술구성]

핵심기술	세부기술
구조 및 열제어 기술	○ 발사환경, 우주환경에서의 구조적, 열적 강건성을 갖는 본체 구조물 설계
	○ 궤도 열해석을 통한 본체 시스템 열적 특성 분석 및 안전성 확보
비행소프트웨어 기술	○ 비행소프트웨어 설계, 코드 개발 및 초기접속 시험, 코드 장기 성능 시험

원격측정명령기술	○ 본체 원격측정명령계 설계 및 제작
자세 결정 및 제어 기술	○ 본체 태양센서 설계, 제작 및 성능 평가
	○ 본체 별센서 설계, 제작 및 성능 평가
	○ 본체 지자기센서 설계, 제작 및 성능 평가
	○ 본체 GPS 수신기 설계 및 제작
	○ 본체 자이로스코프 설계 및 제작
	○ 본체 반작용휠 설계 및 제작
	○ 본체 자세제어 알고리즘 개발 및 프로세서 제작
통신계 기술	○ 본체 S밴드 Link Budget Analysis
	○ 본체 S밴드 송수신기 설계, 제작(구매) 및 성능 측정
	○ 본체 S밴드 안테나 설계, 제작(구매) 및 빔 측정
전력계 기술	○ 본체 태양전지판 설계 및 제작
	○ 본체 배터리 설계 및 제작
	○ 본체 전력제어기 설계 및 제작
추력기 기술	○ 초소형위성용 추력기 기술

□ 현 상태 및 기술적 접근방법

- 소형위성체의 경우, 과학기술위성, 차세대소형위성, 다목적위성, 국방위성 등 개발을 통하여 대부분 TRL7 이상에 해당됨
- 초소형위성체의 경우는 많은 부분 TRL7 이상에 도달하지 못한 상태임 (기술준비 수준 초소형위성체 참조)
 - 지난 10여년간 초소형위성 개발은 대학에서 저예산으로 시도되었음
 - 저예산에 따른 우주인증이 부족한 부품의 사용 등은 미션의 실패로 이어진 사례가 다수임
- 특히, 온실가스 감시 초분광 탑재체는 SNR 200 이상을 달성하기 위해서는 소형위성급 자세제어를 통한 지향관측으로 노출시간 확보가 필수이며, 초소형위성용 자세제어 하드웨어 및 알고리즘 개발 필요함
- 초소형위성의 제한된 사양으로 초분광 탑재체의 운용이 가능한지 위성체 사양 분석이 필요함
 - 과학 요구사항을 만족시키는 초소형위성의 자세제어 가능 여부 분석이 우선시 되어야 함

- 위성과 탑재체의 운영에서 소모되는 전력의 양이 초소형위성으로 가능한지 여부의 분석이 필요

○ 위성체 규모의 결정

- 해외 온실가스 감시 위성이 소형위성급으로 개발되는 사례가 많은 만큼, 소형위성급 개발 가능성도 검토 필요
- 초소형위성으로 광학사양이 가능하다면 GHGSat가 모델이 될 수 있음
- 단, GHGSat은 다량의 온실가스 검출을 목표로 하여 데이터의 활용이 제한될 수 있음. 활용도를 높이기 위해서는 쉽게 구할 수 있는 16U 정도의 초소형 위성도 고려할 필요 있음. 16U 위성의 경우 국내에서 나라스페이스가 개발하고 있으나, 우주에서 활용할 수 있는지 검증하는 단계가 남아있고, 양산 할 수 있는 능력이 되는지 확인이 필요함
- 16U 위성의 경우 저렴한 가격으로 쉽게 구매가 가능할 만큼, 해외에서는 생산 및 활용이 보편화 되어 있음. 유럽의 경우 Gomspace, Spire社 등에서 고급제품을 제공하고 있고, 이에 더해 Nanoavioncs, Endurosat社 등에서는 저가제품을 공급하고 있음. 따라서 양산을 고려할 경우 해외제품을 바로 구매해서 활용하는 것도 선택지가 될 수 있음
- 광학사양 달성을 위해 소형위성급으로 결정이 된다면 MicroCARB를 유사 모델로 참고가능. 단, 8대 이상의 위성을 양산을 위해서는 국내 기관/업체의 현 상황과 양산능력을 점검해 볼 필요있음. 현재 위성을 생산할 수 있는 기관들은 대부분 국가주도의 초소형 군집위성 개발에 집중하고 있어, 자칫 사업의 지연요소가 될 수 있음. 이에 대한 해결책으로는 해외 소형위성 구매를 고려할 수 있고, 보다 현실적인 해법으로는 이미 개발 중인 초소형 위성을 추가 제작하여 활용하는 것을 들 수 있음

○ 단계별 위성체 개발 추진 방안(안)

- 1단계 인증모델 (4년): 소형위성급(<80kg), 열구조계 및 자세제어계 최적화, 관 주도 및 민간 참여, 인증모델 개발
- 2단계 인증모델 (3년): 위성체 경량화 개발, 열구조계 및 자세제어계 개선, 관 주도 및 민간 참여, 비행모델 개발
- 3단계 인증모델 (3년): 초소형위성급 성능개선, 열구조계 및 자세제어계 개선, 관 참여 및 민간 기술 이전, 편대 비행모델 개발
- 민간 양산체계 전환: 민간 주도형 양산, 정부 구매

3.4. 중점분야 (4): 지상국

□ 개요 및 목표

표 4-8 [지상국 개발의 개요 및 목표]

개요	○ 위성 운용 및 자료처리
목표	<ul style="list-style-type: none"> - 비행소프트웨어 개발 - 지상국 운용 - 자료처리 알고리즘 개발 - 지상관측 시스템을 통한 관측 데이터 검증

□ 기술구성

표 4-9 [지상국 개발의 기술구성]

핵심기술	세부기술
지상국 소프트웨어 기술	○ 위성과 지상국간 원격명령/원격측정 데이터를 송/수신하기 위한 지상국 접속시간을 예측하여 관제운용 수행 구간 정보를 생성
	○ 위성의 촬영임무 또는 전력 충전 등 위성 임무 수행 시 제약사항이 되는 달, 태양 식구간의 시간 정보 획득
초분광 영상 처리 기술	○ 관측된 자료의 전처리 및 검교정 기술
	○ 관측된 분광정보와 공간정보를 융합하여 (x, y, λ)의 데이터큐브를 최종 산출하는 기술

□ 현 상태 및 기술적 접근방법

- 지상국의 운용은 그동안 많은 위성개발에 적용되어 왔기 때문에 비교적 TRL이 높은 상태임
- 또한, 저궤도 위성용 지상국도 초소형위성 및 소형위성에 적용 가능함
- 천문(연)의 도요셋(SNIPE)의 운용으로 초소형위성 지상국 운용 헤리티지를 확보함

4. 기술개발 로드맵

□ 1차 목표: 관 주도형 단일 인증모델 및 비행모델 개발, 단계적 성능 개선

표 4-10 [온실가스 감시 초소형기상위성개발 1차 목표]

구분	세부기술	
1단계 인증모델 개발 (4년)	○ 임무 분석 및 과학 요구사항 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 산출 오차범위: < 3ppm - 밝은 흡수선 위주 검증 관측
	○ 관 주도형 인증모델 체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 소형위성급 설계/해석/제작 (80kg 이하급) - 열구조계 안정화 - 자세제어계 최적화 (target mode, glint mode 지원) - 회절격자 분광기 탑재체 (분광분해능 ~0.1nm, 신호대 잡음비 최소 200 이상) - 우주 환경시험 및 검교정 - 산출 알고리즘 개발 - 발사 및 성능 검증
	○ 별도 기술개발 수행 (필요시)	<ul style="list-style-type: none"> - 고속스캐너
2단계 비행모델 개발 (3년)	○ 임무 분석 및 과학 요구사항 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 1단계 인증모델 성능 분석 - 새로운 과학 요구사항 도출 (필요시) - 산출 오차범위: < 1ppm
	○ 관 주도형 비행모델 체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> - (초)소형위성급 설계/해석/제작 및 위성체 경량화 개선 - 열구조계 개선 - 자세제어계 개선 (target mode, glint mode 지원) - 회절격자 분광기 탑재체 (분광분해능 ~0.1nm, 신호대 잡음비 최소 200 이상) - 우주 환경시험 및 검교정 - 산출 알고리즘 개선 - 발사 및 성능 검증
	○ 별도 기술개발 수행 (필요시)	<ul style="list-style-type: none"> - 고속스캐너 - 편대 비행 알고리즘

□ 2차 목표: 민간 주도형 편대 비행모델 개발, 민간 양산 체제 구축

표 4-11 [온실가스 감시 초소형기상위성개발 2차 목표]

구분	세부기술	
3단계 비행모델 개발 (3년)	○ 임무 분석 및 과학 요구사항 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 2단계 비행모델 성능 분석 - 새로운 과학 요구사항 도출 (필요시) - 산출 오차범위: < 1ppm
	○ 관 참여 및 민간 기술 이전 편대 비행모델 체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> - (초)소형위성급 설계/해석/제작 및 위성체 경량화 개선 - 열구조계 개선 - 자세제어계 개선 (target mode, glint mode 지원) - 고속스캐너 기술 적용 (가능시) - 회절격자 분광기 탑재체 (분광분해능 ~0.1nm, 신호대잡음비 최소 200 이상) - 우주 환경시험 및 검교정 - 산출 알고리즘 최적화 - 편대 비행 운용 및 검증 - 발사 및 성능 검증
민간 양산체제 전환	○ 임무 분석 및 과학 요구사항 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 3단계 편대 비행모델 성능 분석 - 새로운 과학 요구사항 도출 (필요시) - 산출 오차범위: < 1ppm
	○ 민간 주도형 편대 비행 모델 체계 개발 및 정부 구매 체제 구축	<ul style="list-style-type: none"> - (초)소형위성급 설계/해석/제작 및 위성체 경량화 개선 - 열구조계 개선 - 자세제어계 개선 (target mode, glint mode 지원) - 고속스캐너 기술 적용 (가능시) - 회절격자 분광기 탑재체 (분광분해능 ~0.1nm, 신호대잡음비 최소 200 이상) - 우주 환경시험 및 검교정 - 산출 알고리즘 개선 및 적용 - 편대 비행 운용 및 검증 - 발사 및 성능 검증

5. 활용 방안

5.1. 위성자료 활용 방안

□ 정지궤도 기상위성 자료와 연계를 통한 기본산출물 개선 및 수치 초기자료 제공

- 정지궤도 기상위성 기본산출물(에어로졸, 오존 등)의 보조 관측자료로 활용하여 대기보정, 품질평가 및 수치예보 모델 기초자료로 활용 가능
- 기본산출물의 생성 전처리를 입력 자료로 활용하여 정지궤도 기상위성 산출물의 정확도 개선 도모가 가능해져, 위험기상 등 기상재해의 선제적 대응여건 마련
- GK2B(환경/해양) 위성과의 융합으로 대기오염 정보 개선 등 환경/해양 산출물의 정확도 증대 및 異種 위성관측자료의 융합 활용의 토대 마련 가능
- 저궤도(외국위성) 온실가스 위성의 단점(시간·공간해상도 낮음)의 보완이 가능하여 기존보다 더 촘촘한 한반도·동아시아 상공의 온실가스 관측이 가능해짐

□ 국내 온실가스 감측의 정책적·과학적 기초자료 활용 가능

- 온실가스 감시용 초소형기상위성의 관측자료는 대한민국 온실가스 감측의 기초 자료로 활용하여 탄소중립 2050 등 추진의 정책적 토대가 됨
- 이산화탄소 등 온실가스 감시의 시간·공간해상도 증가로 국내 이산화탄소 감시·추적·예측 등 준 실시간 예측이 가능함에 따라 과학적 기초자료로 활용 가능

□ 국내 기상기후 탐재체의 개발 및 시험환경 제공

- 초소형위성체에 국산 기상탐재체의 임무설계, 개발시험, 우주시험 테스트 진행이 가능해지고, 주기적 성능개선으로 국내 기상탐재체의 경쟁력 확보 및 산업화 도모
- 기후변화로 관측수요가 증가하는 기상기후 위성 관측자료의 중대형 위성대비 빠른 개발과 정식운영으로 국내 기후변화 대응능력 강화
- 초소형위성 관측자료를 인공지능(AI) 기반의 자료처리 과정을 거쳐 정지궤도 기상위성의 자료 검증용으로 활용

5.2. 온실가스 감시 지상원격관측시스템(TCCON 등)과의 연계 활용 방안

□ 온실가스 감시 지상원격관측시스템 소개

- 기상청(국립기상과학원)은 온실가스 전량농도 감시·검증을 위하여 지상기반 원격감시 FTS(고분해 태양광 흡수 분광간섭계), m-FTS(이동형 태양흡수분광간섭계), LC(저비용 센서) 기술개발 및 연구, 그리고 국제 관측망을 운영하고 있음
 - 관측망은 “고도별 온실가스 농도 정보”를 산출하기 위한 방향으로 개발되고 있으며, 연구는 “배경 대기와 도심지역의 농도” 및 “대기경계층 농도 변화특성” 정보 산출을 목적으로 하고 있음

- 국제 관측망은 2014년 4월 TCCON을 시작으로 2023년 10월 COCCON까지 원격감시의 관측망이 안면도 2지점, 서울 1지점으로 구축되어 운영되고 있음

표 4-12 [기상청 온실가스 감시 지상원격관측시스템]

구분	운영 및 구축계획	운영기관
고분해 태양광 흡수 분광간섭계 (고정형)	- TCCON 관측소1소 지정 및 운영 - FTS(IFS125HR) 국내 2기 - FTS(IFS125HR) 1기 도입 계획 중	- 국립기상과학원(NIMS) - NIMS, 한국표준과학연구원(KRISS) - KRISS
이동형 태양광 흡수 분광간섭계 (이동형)	- COCCON 관측소 1소 지정 운영 - m-FTS(EM27/SUN) 3기 운영 - COCCON 관측소 2소 운영 - m-FTS(EM27/SUN) 1기 도입 예정	- 서울대학교 - NIMS(1기), 서울대학교(2기) - NIMS, 이화여대 - KRISS('23.8.)
온실가스 광전자 신호 감지센서	- 그래핀 기반 온실가스 센서 개발 - 바이오 기반 미량 온실기체 감지 센서 개발	- NIMS, 생산기술연구원, 전남대, - 경상대, 이화여대, 하버드대학교

출처: 국립기상과학원

□ 지상원격관측시스템의 상호검증

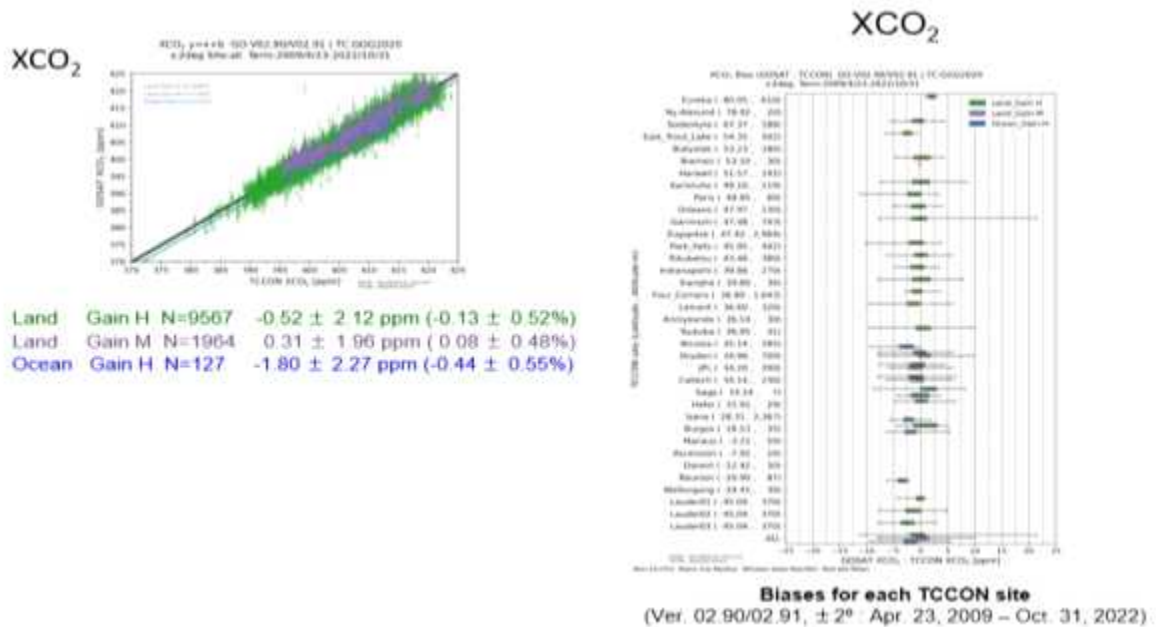
- FTS, m-FTS, LC를 통한 온실가스 전량농도 측정은 큰 과학적 이점이 있음
 - 온실가스 프로파일에는 대기에서 온실가스를 제거하는 광합성 그리고 다시 대기로 방출하는 호흡, 기타 배출량 등의 정보를 포함하고 있으며, 총 칼럼 내에서 온실가스의 수직 재분배를 할 수 있는 수직수송과 수평수송에 대한 정보를 가지고 있음
 - 위 과정들에 대한 상호작용에 해당하는 온실가스의 주간, 계절, 년 변동의 정보를 생산 할 수 있으며, 주기와 장기 페이징 특성을 안정적인 변화범위로 감시할 수 있음
 - 위성과 지상원격관측자료의 상호검증으로 온실가스 산출자료의 보완, 알고리즘 개선 등 가능해지며, 국가 차원의 온실가스 감축, 대응의 과학적 자료제공 가능

□ 상호검증의 중요성 확대

- FTS, m-FTS, LC의 주요 목적은 전지구 탄소 전량 관측망(TCCON, Total Carbon Column Observing Network)을 기반으로 보정된 지상 전량농도 표준을 제공
 - 대기 프로파일과 총 칼럼 평균대기 프로파일을 비교하면서 얻을 수 있음. 이는 지상과 위성 측정 간의 오차를 검증하며 보정기준을 제공하게 됨
- 현재 지상관측 자료의 분석 방법과 생산지점별 오차를 중요 해결 과제로 인식하고, 그 해결책으로 위성을 활용한 입체관측이 국제적으로 중요하게 대두되고 있음

- 한반도 온실가스의 과학적 입증 및 지상원격관측자료의 공간 적용 범위와 해상도 향상, 실시간 품질보증, 자료제공을 위해 위성을 활용한 관측이 중요해지고 있음
- 그러나, 국내 지상원격관측은 TCCON, COCCON, FTS, m-FTS, LC로 과거에 비해 다양해 지고 있으나, 이를 비교·검증할 수 있는 국내 온실가스 위성은 부재한 상황임
- 일본의 경우 자국의 온실가스 위성(GOSAT) 자료와 TCCON 자료를 비교·검증하여 자료산출, 알고리즘 개선 등에 적극적으로 활용하고 있음

그림 4-4 [일본 GOSAT, TCCON 자료 비교 검증]



출처: Status on GOSAT and GOSAT-2 observations and validations 2023

□ 최근 위성과 지상원격관측 자료의 검증은 단계적으로 추진

- 첫 번째는 저정밀의 COCCON 관측장비를 통한 캠페인의 검증 수행, 두 번째는 저정밀의 자료 호환 기준의 고정밀 TCCON과 타겟 검증을 수행
- 미국, 유럽의 위성검증 장기 계획은 COCCON으로 1차 검증 및 국제 캠페인을 도심지역(위성자료 검증 어려운 소스 지역)에서 진행, 2차 검증으로 TCCON 고사양 장비로 정밀 검증, 3차로 FTS, LC로 상시 타겟 검증임
- ※ 지상원격관측 자료와 위성자료 검증은 직접 관측 자료와 일치하는 프로파일 생산 → 생산된 프로파일을 전 대기층의 확대 → 관측소 기준 TCCON 프로파일 검증, 검색 → WMO 수준의 TCCON 농도에 만족하는 프로파일 선정 순으로 진행됨(출처: TCCON Wiki)

6. 소요예산 및 기대효과

□ 사업 소요예산

- 사업 소요 예산은 1단계 인증모델 개발의 경우 위성개발 및 알고리즘 개발에 총 410억원* 투입
 - 1단계 인증모델 (N~N+3년): 초기 개발비 410억 (EM, QM 등)
 - 알고리즘: 위성 발사 전 알고리즘 개발비, 초기 운용 후 알고리즘 개선 비용 산정

표 4-13 [사업 소요예산(안)]

세부분야		1단계 인증모델 (4년)
H/W	초분광 탑재체	12,000
	시스템/본체	18,000
	지상국	5,000
	합계	35,000
S/W	알고리즘	6,000
총합(단위: 백만원)		41,000

* 본 보고서에서의 소요예산 산정은 차세대소형위성 2호 개발 예산을 참고하였음 (시스템/본체: 176억, 탑재체 110억), 단 본사업 추진과정에서 예산 변동 가능함

□ 기대효과

(1) 과학기술적 기대효과

- 기후위기 시대 온실가스 감축 및 기후위기 적응에 적극적인 대응 가능
 - 초소형 위성 개발을 통해 최근 중요성이 강조되고 있는 온실가스 감시를 효율적이고 체계적으로 함으로써 탄소중립 2050의 시대적 요구에 적극적인 대응 가능
 - 현재 운영되고 있는 온실가스 지상관측망의 보완 및 과학적 데이터 확보
- 뉴스페이스 시대에 부합하는 온실가스 감시 초소형위성 개발을 통해 민관 협력 체계 구축 가능
 - 온실가스 감시용 초소형 기상위성의 국내외 민간 사용자 요구사항을 조사하여 반영함으로써 기술개발 완료 후 민간 중심의 생산체계 구축
- 국내 초소형 위성기술의 경쟁력 확보
 - 현재 위성 시스템 개발기술을 확보하였으나, 탑재체, 핵심부품, 소재 국산화는 아직 미흡한 수준으로 해당 기술에 대한 개발을 통해 관련 분야 국가경쟁력 제고 가능
 - 초소형 위성 감시체계 구축을 통해 산출되는 데이터의 공유, 활용을 통해 여타 관련 산업의 활성화를 촉진할 수 있는 기술적 기반 마련

(2) 사회경제적 기대효과

- 온실가스, 재난재해 등 이슈 해결을 통한 사회적 비용 감소, 공공 및 민간의 의사결정 지원을 위한 기술 및 정책적 토대 제공
- 뉴스페이스로의 패러다임 전환기에 관련 기술 활용으로 새로운 비즈니스 모델 및 일자리 창출 효과 기대
 - 탑재체, 핵심부품, 소재 등 국산화를 통해 국내 기업의 신규 비즈니스모델 창출을 통해 신규 일자리 창출 가능

V. 결론

1. 종합: 기상청 주도의 초소형위성 개발 타당성
2. 정책제언

V. 결론

1. 종합: 기상청 주도의 초소형위성 개발 타당성

□ 관련 법 및 국가상위계획에 이산화탄소 감시 주관부처를 기상청으로 명시

- 탄소중립기본법 및 동법 시행령에서 기후감시, 기후변화 조사, 대기 중의 온실가스 농도 변화 상시 측정·조사 등을 기상청의 고유 업무영역으로 규정하고 있음
- 기후·기후변화 감시 및 예측 등에 관한 법률 제정(안)을 통해 기상청이 탄소중립 기본법에 따른 기후위기에 대한 감시 및 예측 총괄·지원 기관으로서 탄소중립을 지원하기 위한 체계적인 근거를 마련
- 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안)의 “기후위기 감시 체계 및 예측기술 강화”에서 지상에서 위성까지 입체적 감시역량 강화를 위한 세부 계획을 제시함
 - 온실가스 관측 및 해양·극지의 재난 대응을 위한 초소형 군집·복합위성 개발에서 기상청을 이산화탄소 감시 및 초소형 위성 공동활용플랫폼 구축 주관기관으로 지정

□ 온실가스 감시의 경험·노하우 및 임무의 연속성 보유

- 기상청은 1987년부터 기후변화의 요인이 되는 물질들의 농도 변화를 파악하기 위한 배경 대기관측을 수행하고 있음
 - 1992년부터 세계기상기구(WMO)의 지구대기감시(GAW: Global Atmosphere Watch) 사업에 본격적으로 참여하여 배경대기, 온실가스, 오존 관측을 수행하고 있음
- 또한 기상청은 2012년부터 위성을 이용한 온실가스 산출기술 개발 사업 등을 수행하여 온실가스 관측 위성데이터의 실질적 활용방안을 제시해 오고 있음
- 기상청(국립기상과학원)에서는 온실가스 감시를 위한 TCCON 사이트를 활용하여 한반도 저층 대기의 CO₂ 총량 산출을 수행 중임
 - 안면도 TCCON 관측소는 2014년 8월 운영을 시작하여 약 10년 동안 운영 중이며, 원격 관측, 자료 처리, 자료 검증, 자료 제공과 근적외(NIR) 영역의 태양복사에너지 흡수선을 통한 온실기체의 전량 농도를 생산하고 있음

□ 기상청의 체계적/종합적인 기후변화 감시를 초소형위성의 역할 필요

- 기상청의 중요한 미션으로서의 ‘2050 탄소중립 이행을 위한 과학적 근거 마련 및 기후위기에 대한 예측’에 있어 정확도 향상이 요구됨
 - 이를 위해서는 기존 감시 시스템과 더불어 정지·저궤도·초소형위성의 상호 보완적 활용으로 체계적/종합적인 기후변화 감시 플랫폼을 구축할 필요가 있음
 - 국립기상과학원의 온실가스 지상관측시스템은 추후 위성데이터의 검증 및 상호보완의 목적으로 중요성을 가짐

2. 정책제언

□ 개발 초기 단계의 경우 민간 보다는 공공영역을 중심으로 개발하는 것이 바람직

- 뉴 스페이스(New Space) 도래로 민간의 참여가 증가하고 있으나, 초기 위성개발 리스크, 불확실성 등으로 공공목적의 위성은 관 주도 개발 후 단계적 민간이양 필요
 - 위성개발은 높은 신뢰도가 요구되는 하드웨어를 설계, 해석, 제작, 조립, 시험, 발사, 운영이 필요한 사업이며, 개발과정에서 기술, 예산, 인력 등 투입이 필요한 사업으로 국내 환경이 조성되기 전까지는 공공의 연구개발 과제로 수행할 필요가 있음
 - 공공의 연구개발 과제 수행을 통한 국내 기술수준이 성숙된 후 민간기업에게 초소형 위성개발의 과제를 이양하여 단계적으로 산업화·양산화 체계로 전환 방법이 있음
 - 현재의 산업체 기술수준을 고려할 때, 관 주도의 체계사업을 진행하고, 각 서브시스템의 요소 기술을 보유한 산학연의 공동개발 참여 유도하는 것이 전략적으로 바람직함
- 국내의 경우 한국천문연구원, KAIST 인공위성연구소와 같이 관련 기술에 대한 경험 및 노하우를 보유하고 있고 안정적이고 지속적인 연구가 가능한 연구기관 주도로 개발된 초소형위성의 경우 기술개발에 성공
 - 대학의 경우 큐브위성 경연대회를 중심으로 초소형 위성 개발을 위한 다양한 시도 등 초기 단계 수준
 - 기업의 경우에도 주로 부분체 부품 개발을 수행하여 독자적 임무 개발 및 시스템 설계·해석 경험이 부족한 상황 (R&D 역량 낮음)
 - 이는 특정 임무를 가지는 초소형위성 기술개발의 난이도가 의외로 높아서, 체계개발 경험이 적은 기초연구 중심의 대학 및 민간이 참여하기에는 한계가 있음을 의미함
- CO₂ 모니터링 등을 위한 초소형위성의 경우 활용분야가 특정 분야로 한정되므로 관련 법(기상법 등)에 의거하여 온실가스 관측 및 분석업무를 수행하고 있으며, 유사기술·경험을 보유하고 있는 공공조직의 주도적 개발이 적합함
 - 기상청은 1987년부터 기후변화의 요인이 되는 물질들의 농도 변화를 파악하기 위해 배경 대기관측을 수행하고 있음
 - 특히 1992년부터 세계기상기구(WMO)의 지구대기감시(GAW: Global Atmosphere Watch) 사업에 본격적으로 참여하여 배경대기, 온실가스, 오존 관측을 수행하고 있음
 - 또한 기상청은 2012년부터 위성을 이용한 온실가스 산출기술 개발 사업 등을 수행하여 온실가스 관측 위성데이터의 실질적 활용방안을 제시해 오고 있음
- 해외 주요국 경우에도 공공중심으로 기술을 개발하여 민간에 개방하는 방식 채택
 - 민간의 초소형위성개발 준비, 개발역량이 확보되어 있는 미국, 유럽, 일본 등 우주

선진국들의 경우 자국 기업의 성공적인 시장진출과 시장 점유율 확대를 위해 다양한 산업화 정책 수립

□ 타부처, 지자체와 협력 추진

- 각 부처는 각자의 업무역할에 따른 온실가스 관측을 계획하고 있으며, 지자체는 우주기술을 융합한 신산업 창출을 위해 초소형위성 개발을 도전적으로 추진하고 있음
 - 최근 환경부는 메탄(CH₄) 감시를 위한 초소형위성 개발사업을 기획 중. 본 개발이 완료될 경우 환경부는 메탄, 기상청은 이산화탄소에 집중한 국가차원의 온실가스 관측 시스템의 구축이 가능함
 - 각 부처간 영역에 따른 선택과 집중(환경부는 배출원 관리, 기상청은 전지구적 기후변화 감시 역할)을 통해 온실가스 감시의 상호협력을 통한 기후변화 대응 및 국가 경쟁력을 강화에 기여 가능
 - 또한 최근 민간에서도 관련 기업을 중심으로 메탄 탐측용 초소형위성 개발사업에 참여하고자 하는 수요가 있어 핵심 인재육성 및 기술 공유 등의 시너지 효과 창출 가능
 - 부산광역시의 BusanSat과 대전광역시의 DaejeonSat과 같은 지자체에서도 공공 목적의 초소형위성 개발 기획을 추진 중임
 - 이에 따라 유관부처, 지자체간 협력을 통해 초소형위성 개발의 효과 극대화 및 상호연계 가능

□ 공공과 민간의 차별화된 위성개발 전략 운영 및 상호 연계·협력 추진

- 앞서 언급한 바와 같이 온실가스 종류별(CO₂, CH₄ 등) 관측 정밀도, 난이도, 정확도, 개발 수준을 고려한 개발전략과 상호 연계 등 협력방안을 도출
 - 이산화탄소의 경우 높은 수준의 근적외 영역의 정확도/정밀도를 요구하므로 공공 주도로 연구개발 및 기술을 확보하고, 단계적으로 민간에 기술이양하는 방안이 적절함
 - 메탄의 경우 이산화탄소 대비 상대적으로 개발 난이도가 낮으므로, 공공(또는 민간 공동개발) 전략으로 추진하고, 데이터 공동 활용 및 기술 피드백 등의 고려가 필요함
- 기상청 주도로 시제품 개발 체계사업 후 단계적 기술이전 및 민간의 양산체계 구현
 - 관 주도(기상청) 초소형위성 개발사업을 추진 시 단계적 체계사업을 통해 시제품의 발사 및 운영을 통해 검증한 후, 민간기업으로 기술이전하는 방안으로 추진
 - 민간에서는 기술이전 받은 초소형위성체 및 탑재체의 정밀도, 정확도 등의 향상을 도모하는 생산체계를 구축하고, 양산된 초소형위성을 다시 공공에 제공하는 역할 수행

[참고문헌]

□ 관련 문헌

과기정통부(2021), 초소형위성 개발이행안(로드맵)
과기정통부(2021), 우주산업 전문인력 양성 추진방안
관계부처 합동(2023), 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)
관계부처 합동(2022), 제4차 우주개발진흥기본계획(안)
기상청(2022), 제4차 기상업무발전 기본계획(2023-2027)
대한민국정부(2022), 윤석열정부 120대 국정과제
오지현(2022), 파리협정 이행 지원을 위한 온실가스 관측 위성의 개발 동향 및 시사점
한국과학기술기획평가원(2020), 소형위성
Astronomical Optics, D. Schroeder, 2nd Ed.
Kim et al, AMS(2020)
Lars Peter Riishojgaard(2022), WMO Working Paper
NASA Jet Propulsion Laboratory
SpaceNews, CEOS
Status on GOSAT and GOSAT-2 observations and validations 2023

□ 웹사이트

기상청 기후정보포털(www.climate.go.kr)
정부업무평가 국정과제 추진현황(www.evaluation.go.kr/web/index.do)
과학기술정책지원서비스(<https://www.k2base.re.kr/index.do>)
TCCON Wiki(<https://tccon-wiki.caltech.edu/>)
<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/a/absorption+line>)
<https://www.e-education.psu.edu/meteo300/node/683>
<https://ocov2.jpl.nasa.gov/observatory/instrument/>

부록

1. 초소형위성 관련 기술
2. 전문가 자문위원 활용

[부록]

1. 초소형위성 관련 기술

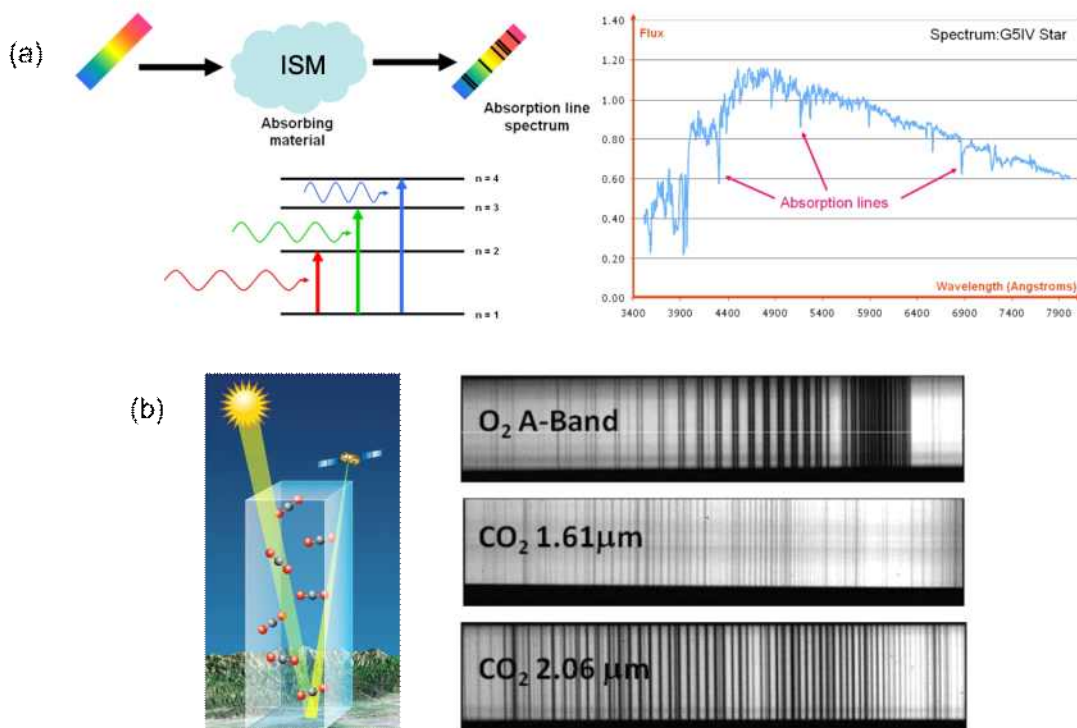
1.1. 초분광 이미징의 온실가스 감시에의 적용

1.1.1. 온실가스 감시의 원리

○ 초분광 이미징은 온실가스 감시에도 적용이 가능함

- 예를 들어, 별의 스펙트럼이 성간물질(interstellar medium)을 통과할 때 소광되면서, 다양한 형태의 흡수선(absorption line)이 관측되는데, 이 메커니즘은 태양빛이 지표면까지 도착할 때 이산화탄소와 같은 온실가스에 의해 발생하는 흡수선과 매우 유사함
- 다시 말해, 천문관측용 분광기를 온실가스 감시용 분광기 개발에 충분히 적용 가능하나 단지, 분해하고자 하는 이산화탄소 흡수선의 폭을 고려하여 분광분해능을 결정하고 태양빛이 지표면에 반사되는 빛의 세기를 고려하여 통계적으로 의미 있는 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)를 결정하여 기본 광학계의 사양을 결정하여야 함

그림 부록-1 [성간물질(ISM)에 의한 별빛의 소광과 스펙트럼에 발생하는 흡수선]

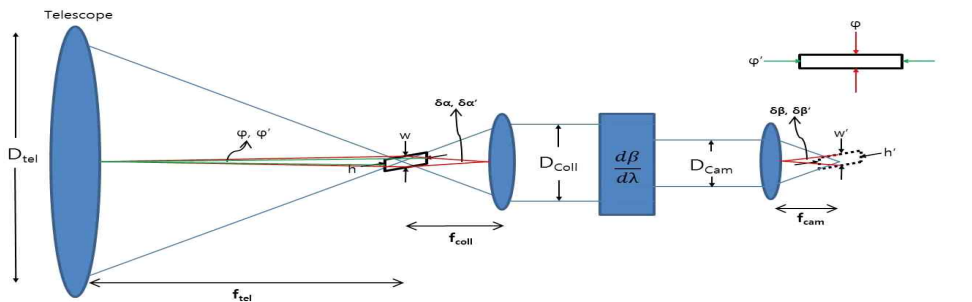


출처: <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/a/absorption+line>) 및
<https://ocov2.jpl.nasa.gov/observatory/instrument/>)

1.1.2. 분광 분해능 (Spectral Resolution)

- 분광관측기기의 주요 사양중 하나가 분광분해능임
 - 즉, 단위 파장을 얼마나 세밀하게 분해할 수 있는가의 척도이며, 분광분해능을 결정하는 요소는 회절격자의 광경로차(optical path difference, OPD; (예) 회절격자의 groove 개수), 분광기의 콜리메이터(collimator) 구경, 검출기에 결상되는 슬릿의 크기 등이 있음
- 아래의 그림에서 알 수 있듯이, 같은 분광기를 다른 망원경에 설치할 경우 분광분해능이 달라짐
 - 즉, 같은 사양의 슬릿과 회절격자의 분광기를 각각의 다른 망원경에 설치할 경우, 큰 망원경에서 분광기의 크기도 함께 커져야 원하는 분광분해능을 얻을 수 있는 것임
 - 다시 말해, 같은 분광기를 큰 망원경에 설치할 경우, 분광분해능이 작아진다. 따라서, 분광분해능을 결정하는 요소들을 적절히 조합하여 원하는 분광분해능을 설계할 수 있음
- 온실가스를 감시하는 관측기기의 형태가 푸리에 변환 간섭계(Fourier Transform Spectrometer)가 많이 쓰이긴 하지만, 초소형위성에 거울의 정밀한 무빙 파트를 사용하는 것은 위험부담이 매우 큼
 - 따라서, 무빙 파트가 없는 일반적인 천문관측 분광기를 충분히 고려해 볼 수 있다. 초소형위성에 탑재될 분광기는 크기의 제한 때문에 컴팩트함도 중요한 요소가 됨

그림 부록-2 [분광분해능의 개념]



$$\delta\lambda = \left(\frac{\delta\lambda}{\delta l}\right) \cdot \Delta l = P \cdot w' = \frac{1}{f_{cam} A} \cdot r \varphi D_{tel} \cdot \frac{f_{cam}}{D_{coll}} = \frac{r \varphi}{A} \cdot \frac{D_{tel}}{D_{coll}}$$

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{\lambda A}{r \varphi} \cdot \frac{D_{coll}}{D_{tel}} = \left(\frac{\lambda}{\varphi D_{tel}}\right) \cdot \left(\frac{A D_{coll}}{r}\right) = \frac{\lambda}{\varphi D_{tel}} R_0 \quad \left(R_0 = \frac{A D_{coll}}{r}\right) \text{ "diffraction limit"}$$

$$\varphi R = \frac{d\beta}{d\lambda} \cdot \frac{\lambda}{r} \cdot \frac{D_{coll}}{D_{tel}} = \frac{\lambda}{D_{tel}} R_0$$

출처: Astronomical Optics, D. Schroeder, 2nd Ed.

- 천문우주과학용 관측기기 개발의 원리를 온실가스 감시용 초분광기 설계 및 개발에 충분히 적용할 수 있음

- 우주탐재용 관측기기의 경우, 지상망원경의 경우와 달리 시잉(seeing)의 영향을 받지 않기 때문에, 슬릿의 폭이 분광분해능의 기준이 됨
 - 예를 들어, 0.5" (각초)의 슬릿에 3픽셀을 샘플링하고, 검출기는 2k x 2k x 15 μ m라고 가정하고 free spectral range(FSR)은 1.25-2.5 μ m이고 분광분해능은 R~5,000(@1.9 μ m)라고 추가 가정함
- 기타 분광기의 사양을 결정하는 제한조건은 아래 표에 제시되어있으며, 이 제한조건을 분석함으로써 분광기의 기본 사양을 결정할 수 있고, 이를 바탕으로 개념설계가 진행될 수 있음
 - 예를 들어, 6.5-m 망원경(f/12.2)에 설치할 경우를 살펴보자. 이 망원경의 초점거리는 가 되며, 픽셀크기가 이고 0.5 "의 슬릿이 3픽셀에 샘플링 되므로, 검출기면에 투영되는 0.5" 슬릿의 크기는 (0.167 "/pixel)임
- FOV=20" 에서는 슬릿의 길이가 결정되며 분광기에 허용된 물리적 크기가 1.5m 이므로, 콜리메이터의 초점거리는 정도로 설정할 수 있음
 - 망원경의 f/12.2이 콜리메이터로 relay되므로 콜리메이터의 구경은 Dcoll=1000/12.2=82m가 됨

표 부록-1 [분광기의 사양을 결정하는 제한조건]

Constraint	Parameter	Comment
Telescope Diameter	6.5-m, f/12.2	
Seeing at the site	0.5"	slit width
Detector	2k x 2k x 15 μ m pixels	
Detector Pitch (Sampling)	0.5" onto 3 pixels	collimator/camera ratio
Free Spectral Range (FSR)	1.25-2.5 μ m	
Spectral Resolution (R)	~ 5,000 (1.9 μ m)	
Field of View (FOV)	20"	slit length
Physical Size of Spectrometer	1.5m box	collimator spec (focal length, diameter...)

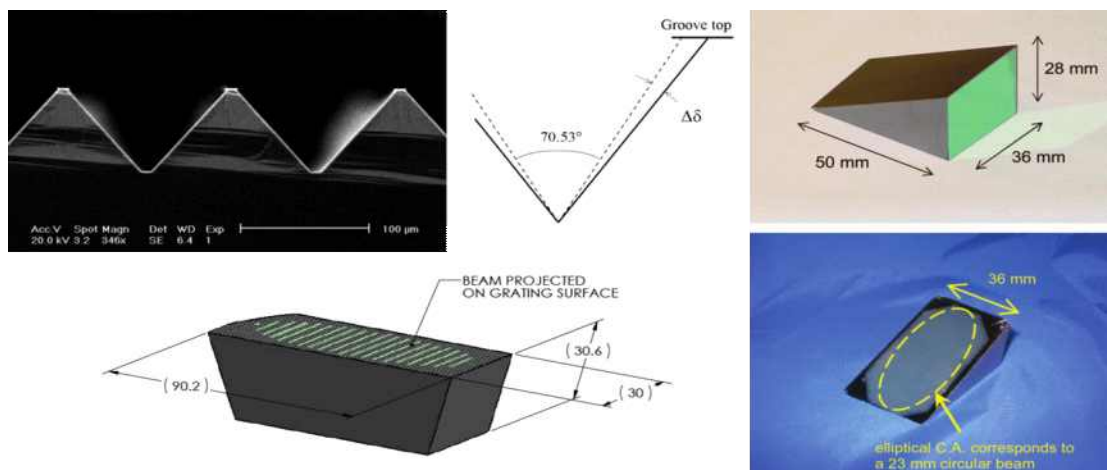
- 망원경과 분광기 사이의 배율(M)은 망원경의 건판척도(plate scale)인 385 μ m/ "와 분광기의 건판척도인 90 μ m/" 의 비율에서 M=385/90=4.3임을 알 수 있음
 - Free Spectral Range가 1.25-2.5 μ m의 근적외선이고, 1 옥타브(octave)를 넘어서지 않기 때문에, order sorting인 불필요함
 - Littrow condition을 가정하고, silicon으로 된 immersion grating을 사용한다면, blaze angle=7.95 degree를 얻을 수 있음
- 이와 같이, 도출된 분광기의 사양을 바탕으로 개념설계를 진행할 수 있음
 - 즉, 콜리메이터와 카메라의 사양을 만족시키는 광학모듈의 설계가 진행될 수 있고, 광학설계이후에 광기계부의 개념설계가 가능함

- 분광기의 종류는 분광소자의 종류에 의해서 결정되며 기본적으로 프리즘(prism)이나 회절격자(grating)가 사용될 수 있고, 두 가지의 장점을 모두 가진 그리즘(grism)을 사용할 수도 있음
 - 우주용 관측기기는 지상망원경에 결합된 관측기와 달리 소형화될수록 유리하며 소형화가 구현될수록 발사시의 진동과 충격의 극복에 유리하고, 궤도상에서 운영 중에 하중에 의한 변형 또한 최소화 할 수 있음
 - 무엇보다 위성체가 요구하는 질량이나 부피 budget을 만족할 수 있으며 이러한 소형화의 관점에서 담금회절격자(immersion grating)도 고려되고 있음
- 분광분해능은 광경로차(OPD)에 비례하는데, 담금회절격자를 실리콘(silicon)으로 가공할 경우, 굴절률 3.44가 OPD에 곱해짐
 - 즉, 이론적으로 같은 분해능을 얻는데 콜리메이터 크기가 약 3배나 작은 콤팩트 분광기를 구현할 수 있게 됨
 - 담금회절격자를 국내에서 직접 가공하는 것도 매우 큰 의의를 가지고 있기에 충분히 고려해 볼 수 있음
- 이처럼 천문우주과학용 분광기 개발 개념은 초소형위성용 초분광탐측기 개발에도 유사하게 적용할 수 있음

표 부록-2 도출된 분광기의 사양

Constraint	Parameter	Comment
fcoll	1,000mm	collimator
Dcoll	82mm	
fcam	233mm	camera
Dcam	81mm	
Anamorphic Factor (r)	1.01	
Blaze Angle	7.95 degree	immersion grating (silicon)

그림 부록-3 담금회절격자의 예*



* 이러한 사양의 담금회절격자는 최근 국내 가공이 충분히 가능할 것으로 기대되고 있음

2. 전문가 자문위원 활용

□ 세부 분야별 자문위원 구성

표 부록-3 분야별 자문위원 구성

구분	분야	소속	직위/직급	성명	역할
	단장	국가기상위성센터	센터장	김O재	-
위원	개발체계	이화여자대학교	교수	안O환	개발 전반
	탑재체(알고리즘)	연세대학교	교수	김O	과학 요구사항, 산출 알고리즘
	탑재체(기술)	공주대학교	교수	이O호	초분광 탑재체, 광학계 개발
		한화시스템	수석연구원	홍O석	탑재체 개발
		(주)루미르	이사	오O수	초분광 탑재체 개발
	플랫폼(산학연)	한국항공우주연구원	책임연구원	이O철	위성운영
		한국항공대학교	교수	오O웅	위성체 구조해석
		경상국립대학교	교수	김O동	R&D 기획자문
		(주)솔탑	전문위원	심O섭	초소형위성체, 비행 소프트웨어
	검증	국립기상과학원	기상연구사	오O석	TCCON 비교검증
간사	국가기상위성센터	연구관	김O영	-	

□ 자문위원 활동

- 2023년 8월 10일(비대면 자문회의, 이화여대 안O환 교수, 연세대 김O 교수)
 - 온실가스 초소형 기상위성 데이터 확보의 필요성
 - 초소형 기상위성의 당위성
 - 상세 과학 요구사항 논의
 - 정확한 이산화탄소 농도 산출을 위한 오차범위 정의
- 2023년 8월 18일(전체 자문위원단 회의)
 - 개발 전반과 로직: 초소형위성 데이터 필요성
 - 초분광 탑재체 개발 전략
 - 위성체의 선정과 개발 전략
- 2023년 9월 11일 ~ 9월 25일(서면자문)
 - 초소형위성 초분광 탑재체 개발 관련 초분광 핵심 기술요소 및 개발 동향(공주대 이O호 교수)
 - 지상국 시스템 개발 관련 기술요소 및 개발 동향(항우연 이O철 책임연구원)
 - 위성체, 플랫폼, 위성체 해석 관련 기술요소 및 개발 동향(항공대 오O웅 교수)

- 국내외 초소형위성 정책동향 및 기술 개발 동향(경상대 김O동 교수)

○ 2023년 11월 1일 ~ 11월 14일 (서면자문)

- 초분광 탑재체 기술준비수준 및 근거 조사 (공주대 이O호 교수)

- 소형위성 기술준비수준 및 근거 조사 (항공대 오O 교수)

- 초소형위성 기술준비수준 및 근거 조사 ((주)솔탑 심O섭 전문위원)

- 지상국 시스템 기술준비수준 및 근거 조사 (항우연 이O철 책임연구원)

온실가스 감시를 위한
초소형기상위성 개발 전략 정책연구

ISBN 979-11-6988-224-8(93450)

