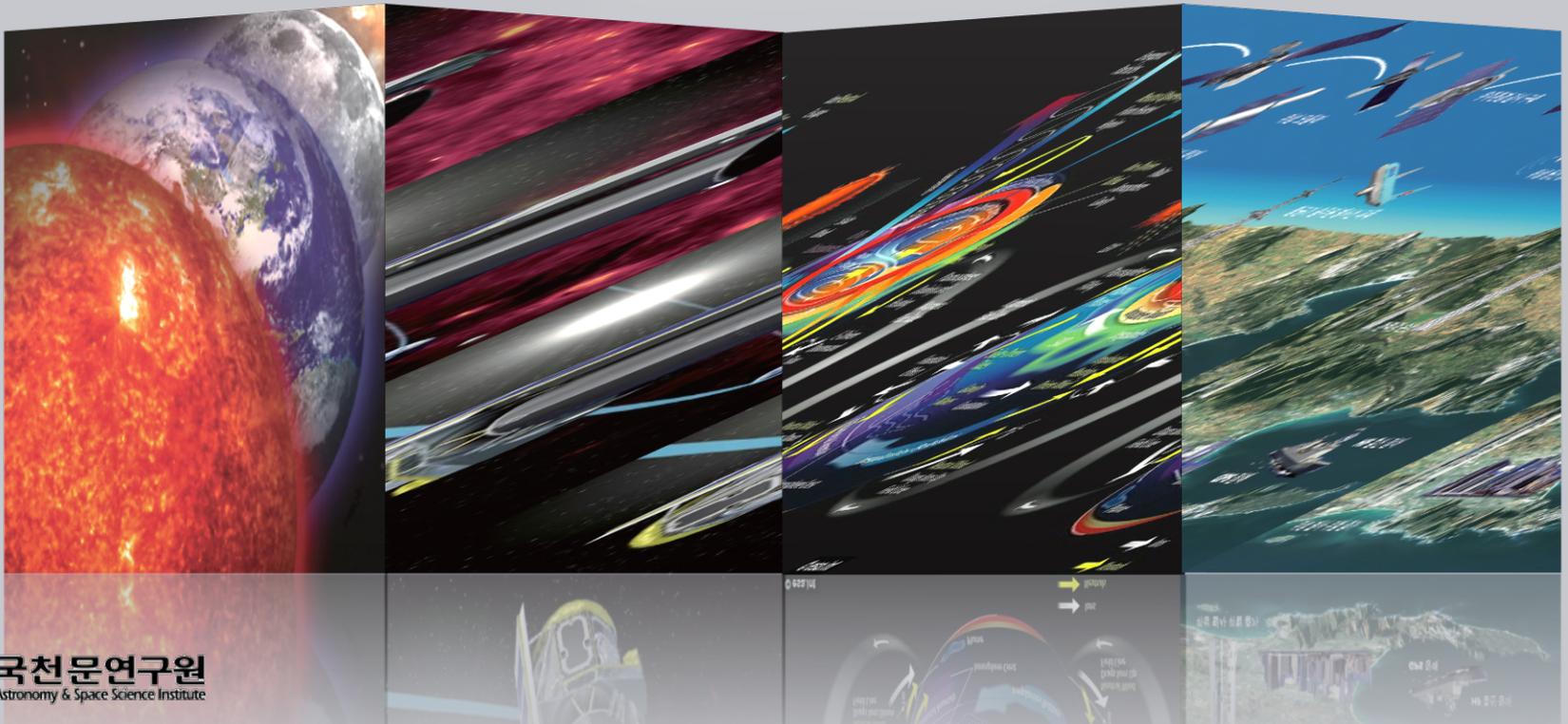


Feasibility Study of a Korean Space Telescope

2017. 6. 29.

한국천문연구원

이 대 희 외 기획연구팀



I

개요

II

국내외 동향 및 시사점

III

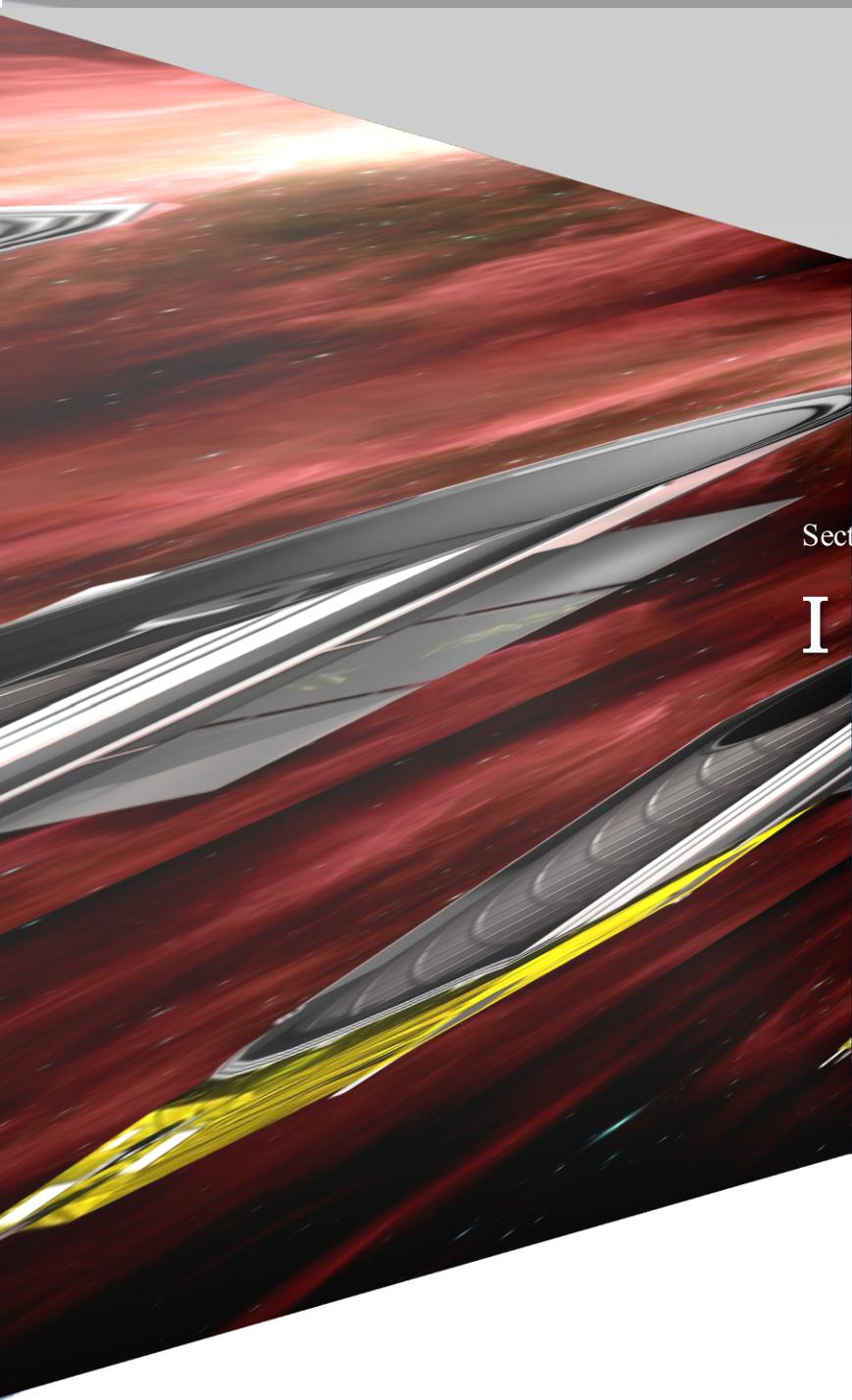
한국형 우주망원경 제안

IV

중점 과학 임무

V

추진 전략



Section

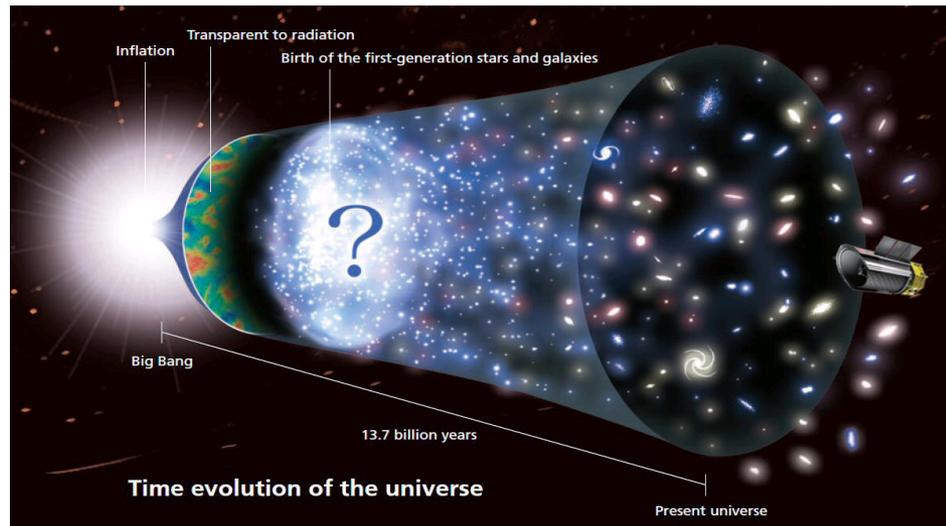
I. 개요



연구 배경 및 목적

우주망원경

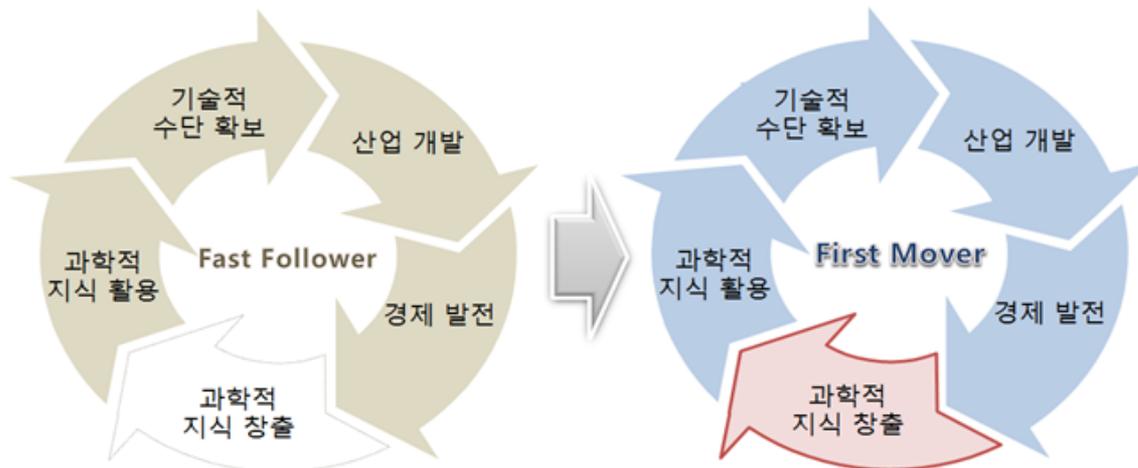
- ▶ 우주를 보다 멀리, 더 자세히, 그리고 보이지 않는 영역까지 관측하기 위해서는 우주 공간에서의 천문관측, 즉 우주망원경의 개발이 필수적
- ▶ 한국형 우주망원경을 통해 창의적인 과학 임무 및 우주 기술 개발로 세계 일류의 독창적, 도전적 연구를 수행함으로써 우주 분야에서 추격자가 아닌 개척자로 국제 선도 가능



Fast Follower에서 First Mover로

한국형 우주망원경

- ▶ 우주망원경은 우리의 IT기술, 로켓기술, 첨단 소재기술 등 기술적 수단과 천문학, 물리학, 수리과학 등의 과학적 지식이 결합된 미래를 향한 도전기술이며, 과학기술 발전과 일자리 신산업을 창출하는 기초 분야



우주 개발 중장기 계획

제2차 우주개발진흥 기본계획 수정안 ('14~'40)

중점과제	세부 추진과제
1. 독자 우주개발 추진을 위한 자력발사능력 확보	1.1 한국형발사체 개발 1.2 중궤도 및 정지궤도발사체 개발 1.3 다양한 발사임무 수행을 위한 발사장 구축
2. 국가 위성수요를 고려한 인공위성 독자 개발	2.1 저궤도위성 개발 2.2 중궤도 및 정지궤도위성 개발
3. 국민 삶의 질 향상을 위한 「다가가는 위성정보」 활용시스템 구축	3.1 수요자 중심의 위성정보 활용 서비스 강화 3.2 국가 위성정보 활용·지원 시스템 및 인프라 구축
4. 미래 우주활동영역 확보를 위한 우주탐사 전개	4.1 무인 달 탐사를 통한 우주탐사 실현 4.2 국제협력기반의 심우주 탐사 추진 4.3 창의적 우주과학 연구 강화 4.4 우주위험 대응 우주감시 시스템 구축
5. 지속 가능 우주개발을 위한 우주산업 역량 강화	5.1 산업체 역할 확대 및 경쟁력 강화 5.2 산·학·연 역량 결집을 통한 수출 활성화 5.3 우주기술 융·복합 활성화
6. 우주개발 활성화 및 선진화를 위한 기반확충	6.1 우주 원천·핵심기술 강화 및 미래 기반기술 개발 6.2 우주개발 인력양성 및 우주문화 확산 6.3 우주개발 국제협력 강화

우주개발중장기계획('14~'40)

▶ 우주망원경을 포함하는 우주 개발 로드맵 정립

● 우주기원 규명을 위한 심우주관측 우주망원경 개발

- 차세대소형위성 활용과 우주망원경 국제협력 프로젝트 참여를 통하여 우주망원경 기반기술 확보(~'20)

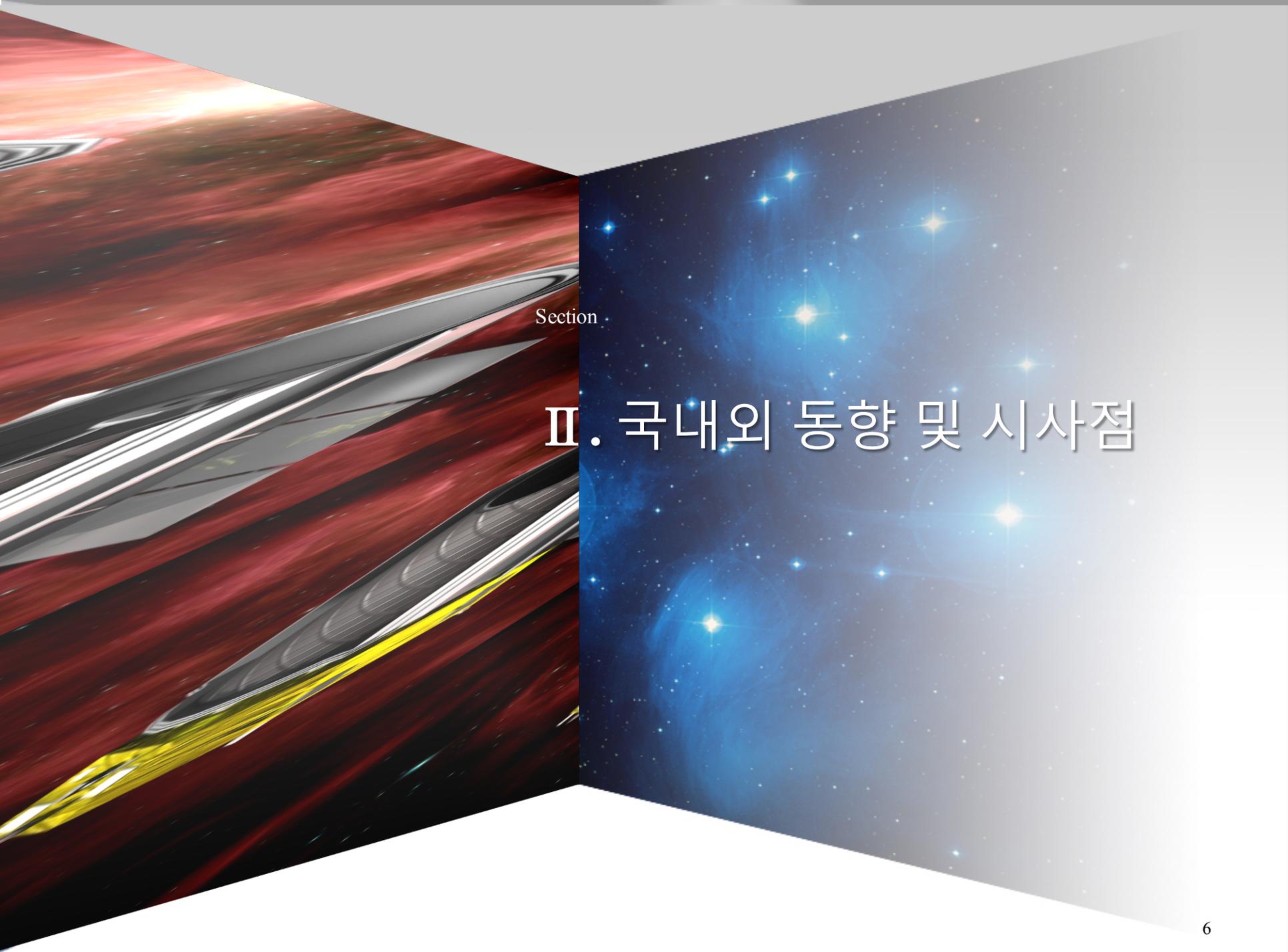
※ 차세대소형위성을 이용하여 적외선 우주망원경, 초경량 반사경 소재 기술 확보

- 차세대중형위성 이용 우주망원경(1m급) 개발을 통해 심우주 탐사 우주망원경 핵심 기술 확보 및 우주가속 팽창 등 우주과학 연구(~'30)

※ 극저온 냉각기술, 태양-지구 중력 균형점(L2, 150만km) 궤도 운영기술, 고정밀 자세제어 연구 및 우주과학 빅 데이터 구축

- 국내 주도 국제협력으로 3m급 심우주탐사 우주망원경을 개발하여 선도적인 빅사이언스 연구(~'40)

※ 우주가속팽창, 암흑물질, 암흑 에너지 등 우주기원 규명

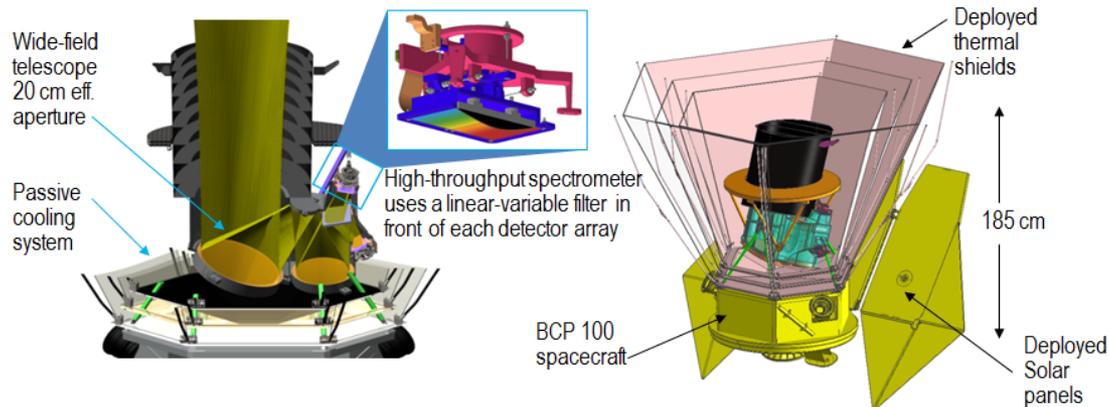


Section

Ⅱ. 국내외 동향 및 시사점

SPHEREx

- ▶ SPHEREx (Spectro-Photometer for the Extragalactic structure, Reionization and ice Explorer) Mission은 미국 Caltech 주도로 NASA MIDEX 미션에 제안된 프로젝트로 0.75 ~ 5 μ m 영역에서 전천 분광탐사를 하는 것을 목적으로 하고 있다. 초기 우주 구조인 큰 규모로부터 작은 규모인 행성계까지 다양한 분야의 사이언스가 가능하며, 우주의 생성, 은하의 진화, 행성계의 기원 등 최근 천문학의 주요한 이슈들을 포함

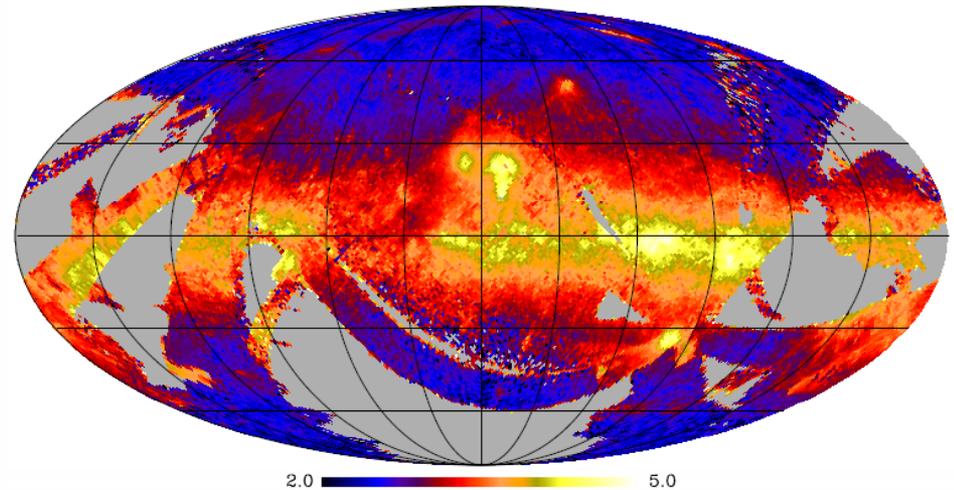
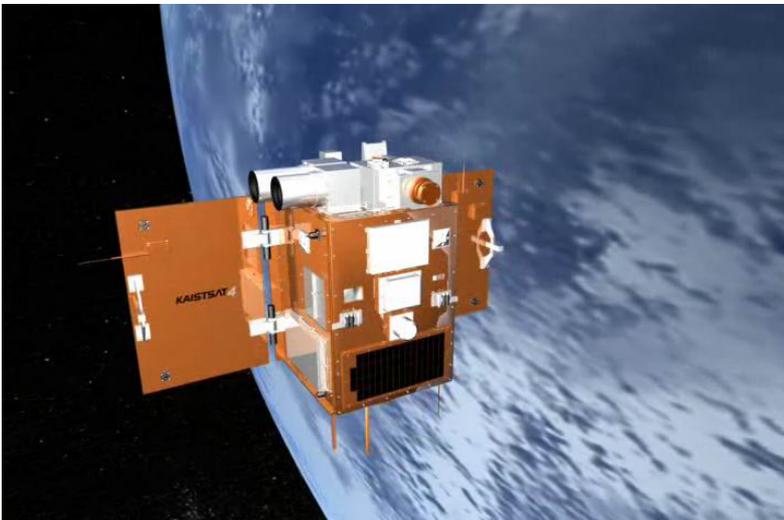


MESSIER

- ▶ 유럽 ESA Cosmic Vision에 제안을 준비 중인 자외선 우주망원경 MESSIER는 Multi-band all-sky survey를 통해 표면밝기 SB(V) ~ 33 mag arcsec⁻²의 감도까지 관측하여 은하 형성의 과정을 밝히려는 임무를 가지고 있다. MESSIER는 넓은 시야면적을 가지며, 자외선-가시광-근적외선 영역의 다양한 필터를 이용한 전천탐사관측을 목적으로 한다. 특히 off-axis mirror를 이용한 빠른 (f/2) 광학계를 탑재하여 표면밝기가 어두운 천체를 탐색하기에 최적화된 설계로, Λ CDM 우주구조형성 모형을 검증하는 것을 주요 과학목적으로 하여, 우주 거대구조(cosmic web)을 추적함과 동시에 가까운 우주에서 ultra-faint dwarf galaxy들을 새롭게 발견하는 것을 목표로 함

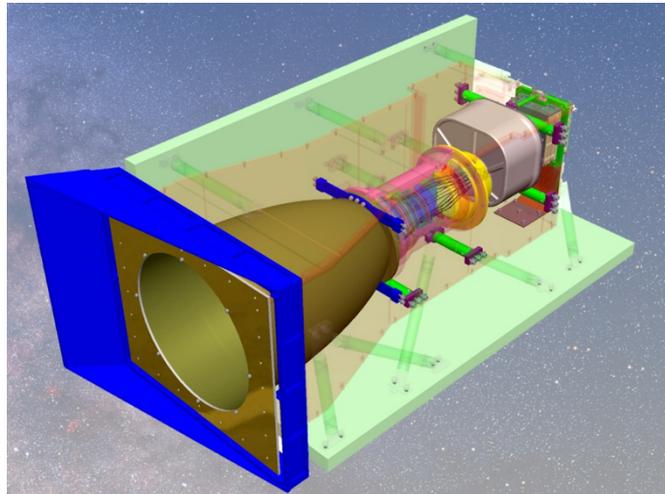
과학기술위성 1호 FIMS (원자외선분광기)

- ▶ 과학기술위성 1호 주탑재체 FIMS는 국내에서 개발된 최초의 우주망원경으로 2003년 9월에 발사되어 원자외선 분야의 우리은하 전천 분광 관측을 수행해 초신성잔해, 성간운, 성간먼지 등에 대한 국내외 연구 논문 50 여 편을 발표함



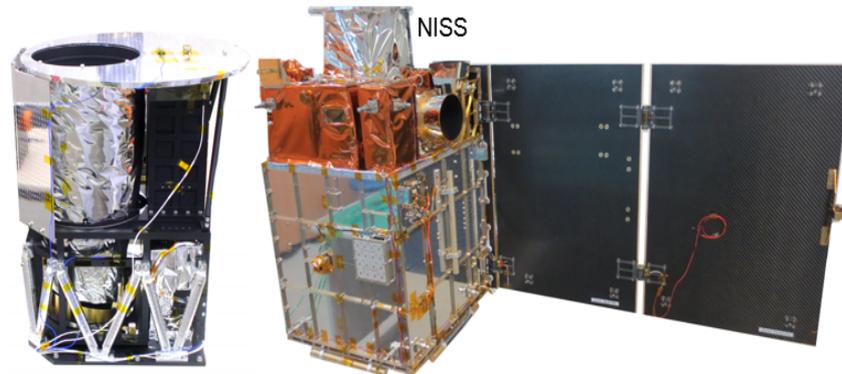
과학기술위성 3호 MIRIS (다목적 적외선영상 시스템)

- ▶ 과학기술위성 3호 주탑재체 MIRIS는 국내에서 개발된 최초의 우주 관측용 적외선 우주망원경으로 2013년 11월에 발사되어 2015년 5월까지 관측 운영을 통해 주요 적외선 탐사를 수행하였으며, 현재는 관측된 자료들을 바탕으로 과학연구를 진행 중임. MIRIS 개발을 통해 적외선 굴절 광학계에 대한 설계 및 해석, 적외선 관측을 위한 열설계 및 해석, 궤도 해석, 광기계부에 대한 구조 해석, 적외선 광학계에 대한 검교정 등의 기술을 얻을 수 있었음



차세대 소형위성1호 NISS (근적외선영상분광기)

- ▶ 2012년부터는 차세대 소형위성 시리즈가 시작되었으며, 현재 1호가 개발이 진행 중에 있는데, 적외선 영상카메라인 MIRIS 후속으로 차세대 소형위성 1호 탑재체로 근적외선 영상분광기 NISS를 개발 중에 있음. NISS는 저분산이지만 적외선 영상분광 기술, 비축 광학계에 대한 설계, 정렬 및 검교정 기술을 필요로 하며, 이는 우주개발 중장기 개발에서 소형 우주망원경에 해당하는 것으로 중대형 우주망원경에 필요한 우주핵심 기술들을 개발하고 이를 통해 우주과학 연구를 하는 것을 목적으로 함

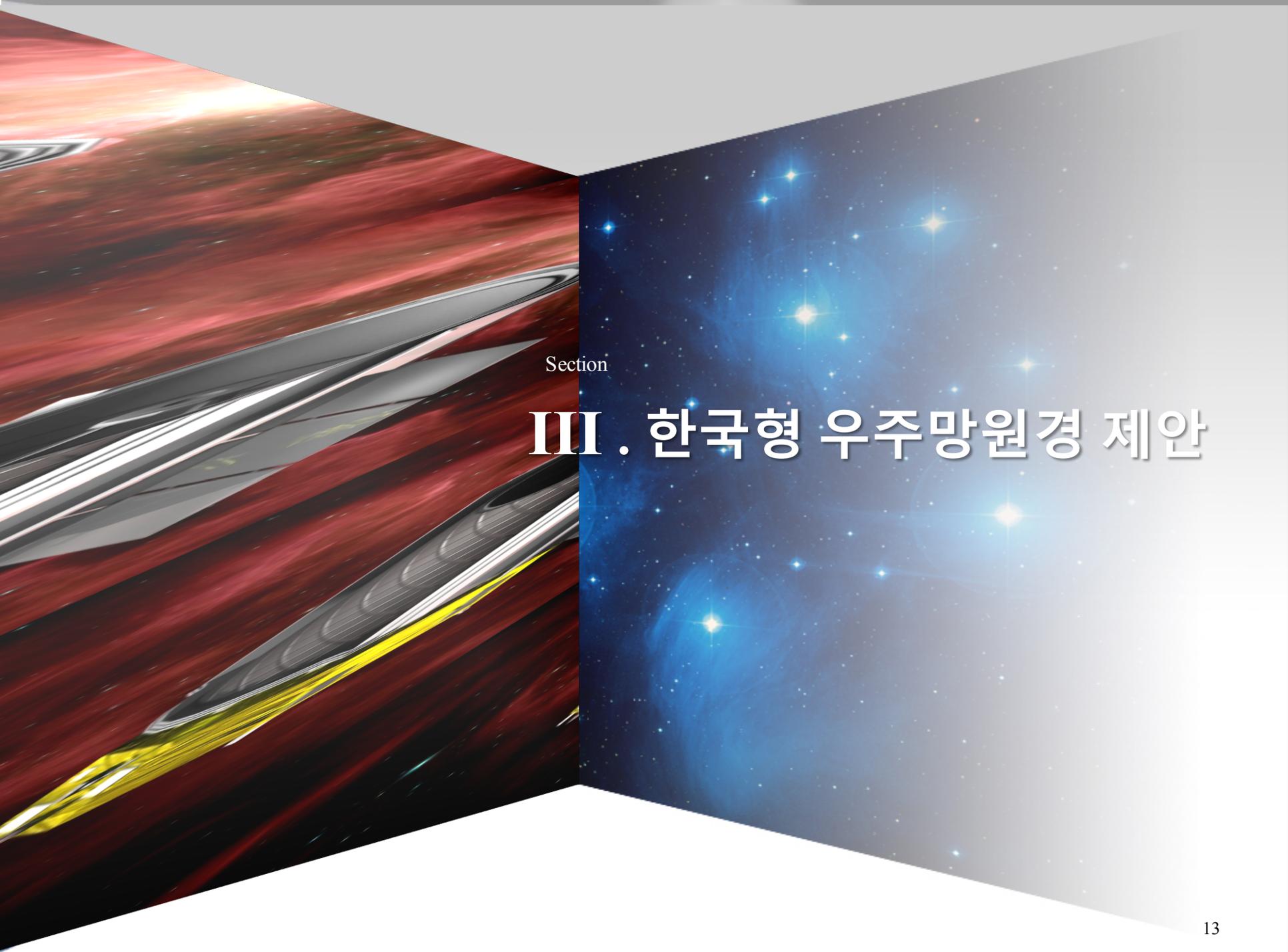


시사점

- 우주 선진국에서 Herschel, JWST, Euclid, WFIRST 등 대형 우주망원경을 통해 먼 우주의 미세 구조를 고분해능, 고분산으로 관측할 수 있음을 감안하여, 한국에서 개발하려는 중소형 우주망원경의 독창성 확보 필요
- 현재 대다수의 우주망원경이 적외선 영역에서 우주를 관측함으로써 자외선 영역까지 관측 영역을 넓혀 독자적 천문 우주 과학 임무를 수행하는 방안 필요
- 또한 기존의 우주망원경이 주로 점광원 관측에 초점이 맞춰져 있는데 반해 넓은 공간 영역을 고감도로 관측하여 우주 전체 관측을 가능하게 하는 방안 필요
- 우주 진화, 은하 형성 등 기존의 우주 천문학 주류에 포함되는 과학 임무를 수행하되, 차별되는 관측 결과로 독자적인 연구를 수행하는 방안 필요
- 기존에 개발하였던 FIMS, MIRIS, NISS, CIBER 등의 우주망원경과 연계하여 한국 주도의 우주 망원경 기술 및 과학 임무 확보 방안 필요
- 한국에서 이미 참여하거나 개발하고 있는 GMT, KMTNet 등의 지상 우주 망원경과 융합하여 암흑 물질 은하 연구, 소행성 연구 등 최신의 연구 영역 확대 필요

시사점 분석에 따른 권고사항

- 한국형 우주망원경은 자외선-가시광선-적외선을 포함하는 광대역 파장에서 비축 광시야 광학계를 채용하고, 분광 필터를 사용하여 고감도 다채널 우주 전천을 관측함으로써 독창적 과학 임무를 수행한다.
- 한국형 우주망원경은 단독 또는 국내 주도 국제 협력을 통해 국내외 중소형 위성에 적합한 크기와 무게를 가지고 저궤도에서 최장 5년의 기간 동안 우주 전천을 관측함으로써 개발 기간과 비용 대비 최고의 성과를 창출한다.
- 한국형 우주망원경은 우주 초기 은하/별에 대한 형성과 진화 연구를 수행하고, 암흑 물질 은하 및 초저조도 은하에 대한 탐색 및 연구를 수행하고, 국내외 기존 망원경들과의 융합 연구로 성간물질, 소행성, 배경복사 등을 연구하여 국제적 우주천문 연구를 선도한다.



Section

III. 한국형 우주망원경 제안

우주망원경 사양

- 세계 최초로 자외선에서 가시광선, 적외선까지 분광/영상 전천 (all sky survey) 관측 가능한 우주망원경 구현
- 선형 분광 필터(LVF)를 사용하여 우주망원경 간소화 및 효율적 영상, 분광 시스템 구현
- 비축 반사경을 이용하여 큰 시야각을 가짐으로써 우주의 넓은 공간 영역 관측에 최적화
- 우주망원경 구경은 과학 임무 조건, 개발 기술 수준 및 탑재되는 위성의 크기를 고려하여 최적화

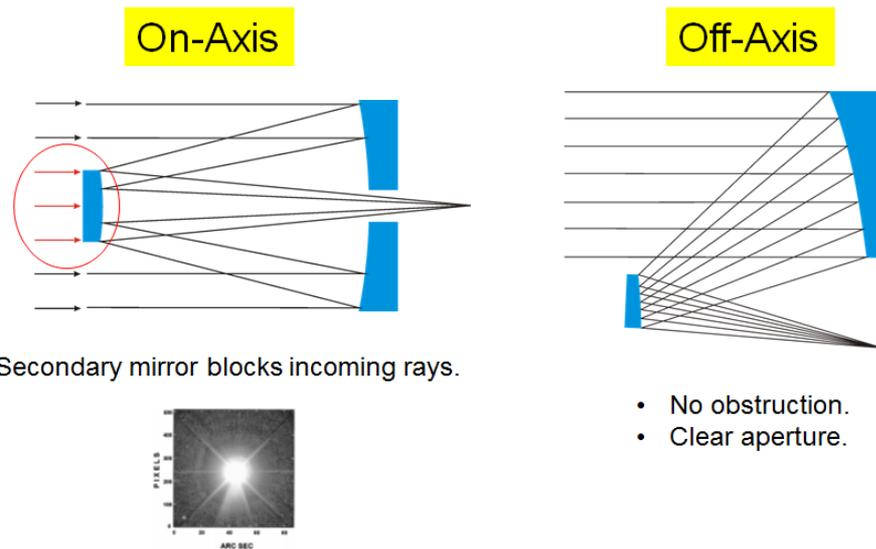
Item	Specification	Remark
Wavelength UV-Visible IR	200-1000 nm 0.9 – 2.5 um	자외선, 가시광, 적외선 포함
Spectral Power UV-Visible IR	6 bands on 8 detectors LVF (R ~ 40) on 2 detectors	LVF : Linear Variable Filter
Optics	TMA (Three Mirror Assembly) SiC	Using dichroic beam splitter Between UV-Visible to IR
FoV	2 x 4 degrees	2 UV-Visible detectors 2 IR detectors
Focal ratio	f/2	Optimal for Surface Brightness
Pixel resolution	3.5"/pixel	
Aperture	40 cm	과학 임무 및 위성 크기 고려
Detector UV-Visible IR	CCD201-20 1K x 1K, 13um pixel H2RG (2K x 2K) 18 um pixel	e2v Teledyne

I “Low Surface Brightness Universe”

- 우주에는 지금까지 관측하지 못한 다양한 어두운 천체가 존재
- 지상이나 우주의 대형 망원경들은 point source 관측에 특화
- 세계 최초로 어두운 우주를 자외선에서 적외선까지 표면 밝기 26 등급 전천 관측
- 은하 진화, 우주론, 성간 물질에 대한 독창적 연구 가능
- GMT, KMTNet 등 지상망원경과 융합 연구 가능
- FIMS, MIRIS, NISS, CIBER 등 기존의 우주망원경과 연계한 연구 가능

비축 반사 광학계

- 선형 수차 없는 비축 반사 광학계 (LAF-TMS, Linear-Astigmatism-Free Three Mirror System)은 부경에 의한 차폐가 없어 빛의 산란, 회절 등에 의한 효과가 없음
- 동축 광학계보다 동일한 구경으로 더 많은 빛을 집광할 수 있는 장점이 있으며, 넓은 공간을 관측하는 초점 거리가 짧은 광학계를 소형화하는데 유리함
- 이러한 비축 반사 광학계는 비구면 반사경의 제작, 조립 및 정렬이 일반적인 반사경 시스템보다 어렵지만 국내 선형 기술로 개발 기술



Secondary mirror blocks incoming rays.

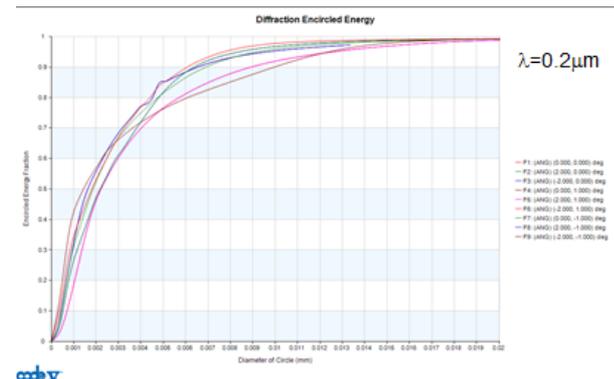
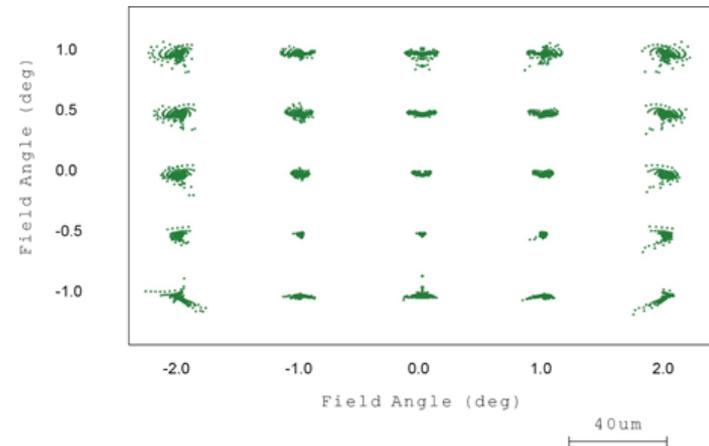
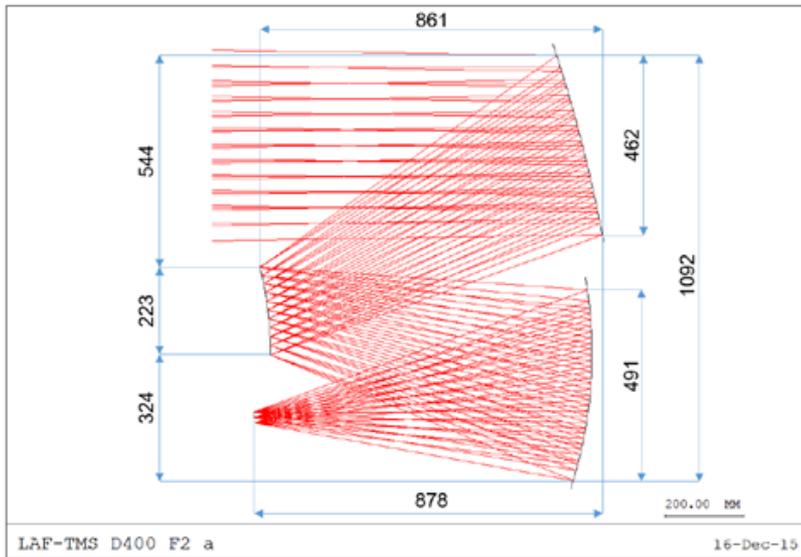
- No obstruction.
- Clear aperture.

Scattering, diffraction, and stray light problem

비축 반사 광학계 설계 안

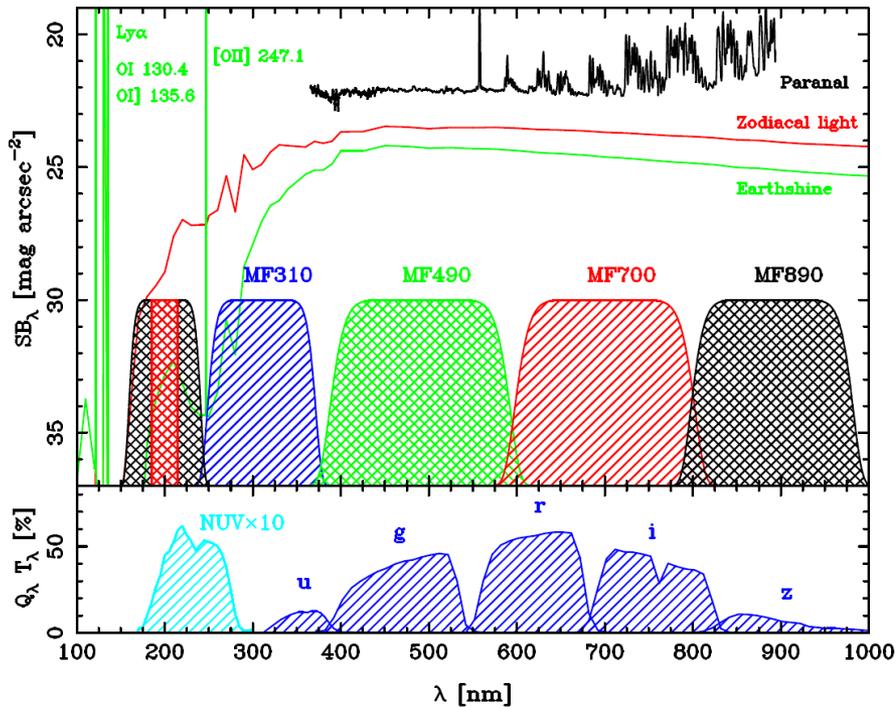
- 구경 400mm, 시야각 4도x2도, F#2 로 기본 설계 수행
- 세 장의 반사경 모두 자유 형상 곡면 필요
- Spot diagram과 Encircled Energy 분석 결과 시야각 내에서의 집광 요구 조건 만족

D=400mm f/2 LAF-TMS (4°x2° FOV)

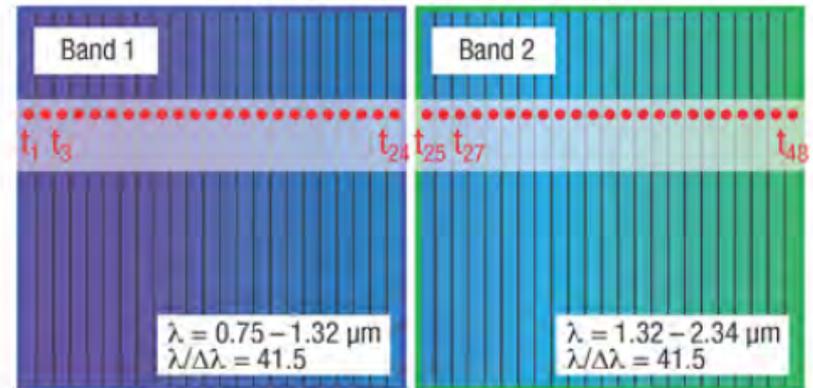


선형 분광 필터 (LVF)

- UV-Visible 까지 6 개의 filter 사용
- IR 영역은 선형 분광 필터 (LVF 사용)

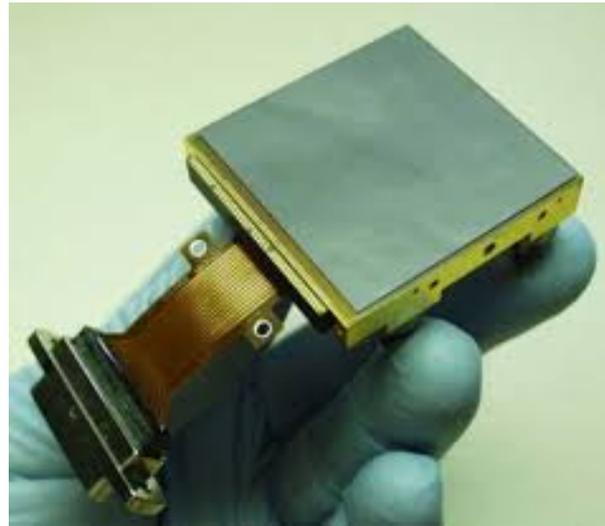
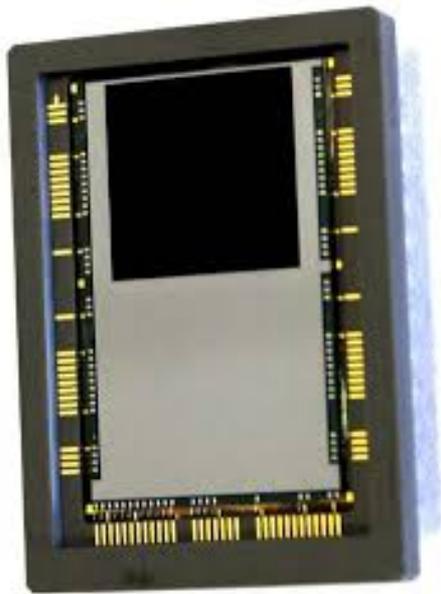


2.5 μm H2RG Arrays in Reflection



검출기

- UV-Visible : CCD201-20, 1K x 1K pixels, 13 um pitch, e2v
- IR : H2RG, 2K x 2K, 18 um pitch, Teledyne



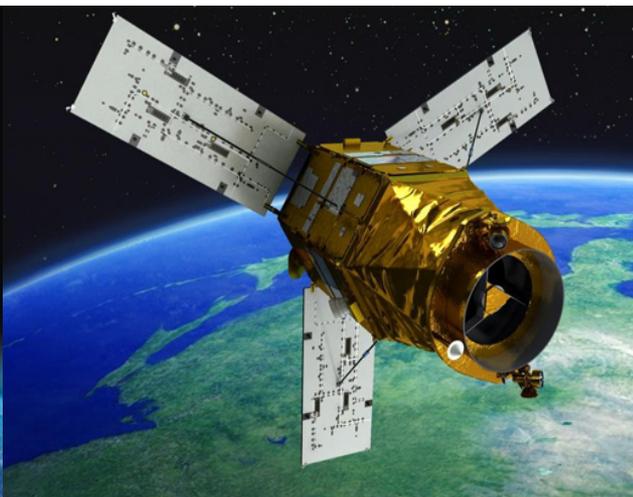
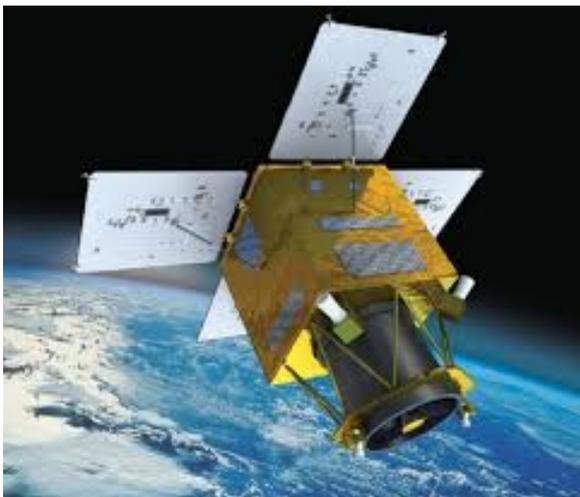
위성체 요구조건

- 우주망원경 탑재체 무게 50 kg, 전력 50W을 제공 가능 위성
- 자세 안정도 3.5"를 유지할 수 있는 위성
- 태양동기궤도로 위성 임무를 4년 이상 수행할 수 있는 위성
- 현재 한국항공우주연구원에서는 다목적 실용위성 시리즈 이외에 2015년부터 차세대중형위성 1단계 사업을 진행하고 있음
- 한국과학기술원 인공위성연구센터는 1999년부터 2012년까지 과학 기술위성 시리즈, 2013년부터 차세대소형위성 1호를 개발하고 있음
- (주) 세트렉아이는 2000년부터 SI-100, SI-200, SI-300 위성 개발

Item	Specification	Remark
궤도	LEO (500km 이상)	태양동기궤도
탑재체 크기	< 100 x 100 x 150 cm	우주망원경 최대 허용 부피
탑재체 질량	< 50 kg	우주망원경 최대 허용 중량
탑재체 전력	< 50 W	우주망원경 최대 허용 전력
자세정밀도	< 14"	자세지향정밀도
자세안정도	< 3.5"	자세지향안정도
데이터 전송 용량	> 40 Gbytes/day	100% duty 가정
데이터 저장 용량	> 200 Gbytes	최소 5일 분량 저장
임무 수명	> 4년	

국내 위성 버스 현황

Item	차세대 중형위성 (1단계)	차세대 소형위성 1호	SI-300
궤도	LEO (500km 이상)	SSO (태양동기궤도)	LEO
위성 크기	< 140 x 140 x 240 cm	58 x 60 x 93 cm	< ϕ 150 x 195 cm
위성 질량	< 500 kg	~ 100	< 300 kg
위성 전력	< 1,000 W	250 W	< 450 W
자세정밀도	< 18"	3축 안정화 방식	3축 자세제어
자세안정도	-	-	-
데이터 전송 용량	X-밴드	X-밴드	X-밴드
데이터 저장 용량	-	8 Gbytes	-
임무 수명	4년	2년	5년



전천 관측 시뮬레이션

■ 시뮬레이션 조건

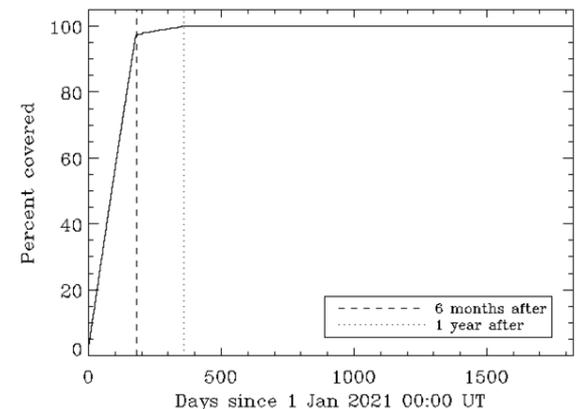
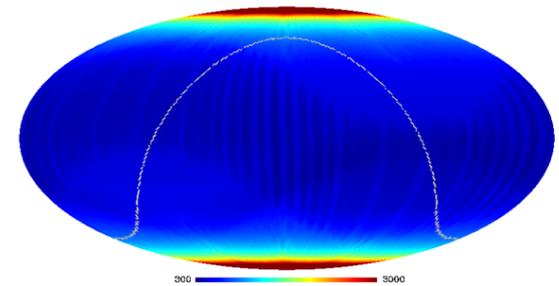
- 자세 제어를 하지 않는 전천 관측 (추후 상세 자세 제어 입력 필요)
- 2021년 1월 1일부터 2025년 12월 31일까지 관측
- 달 회피 각도 35 도
- SAA (South Atlantic Anomaly) 고려
- 태양과 지구 회피 각도 고려 안함

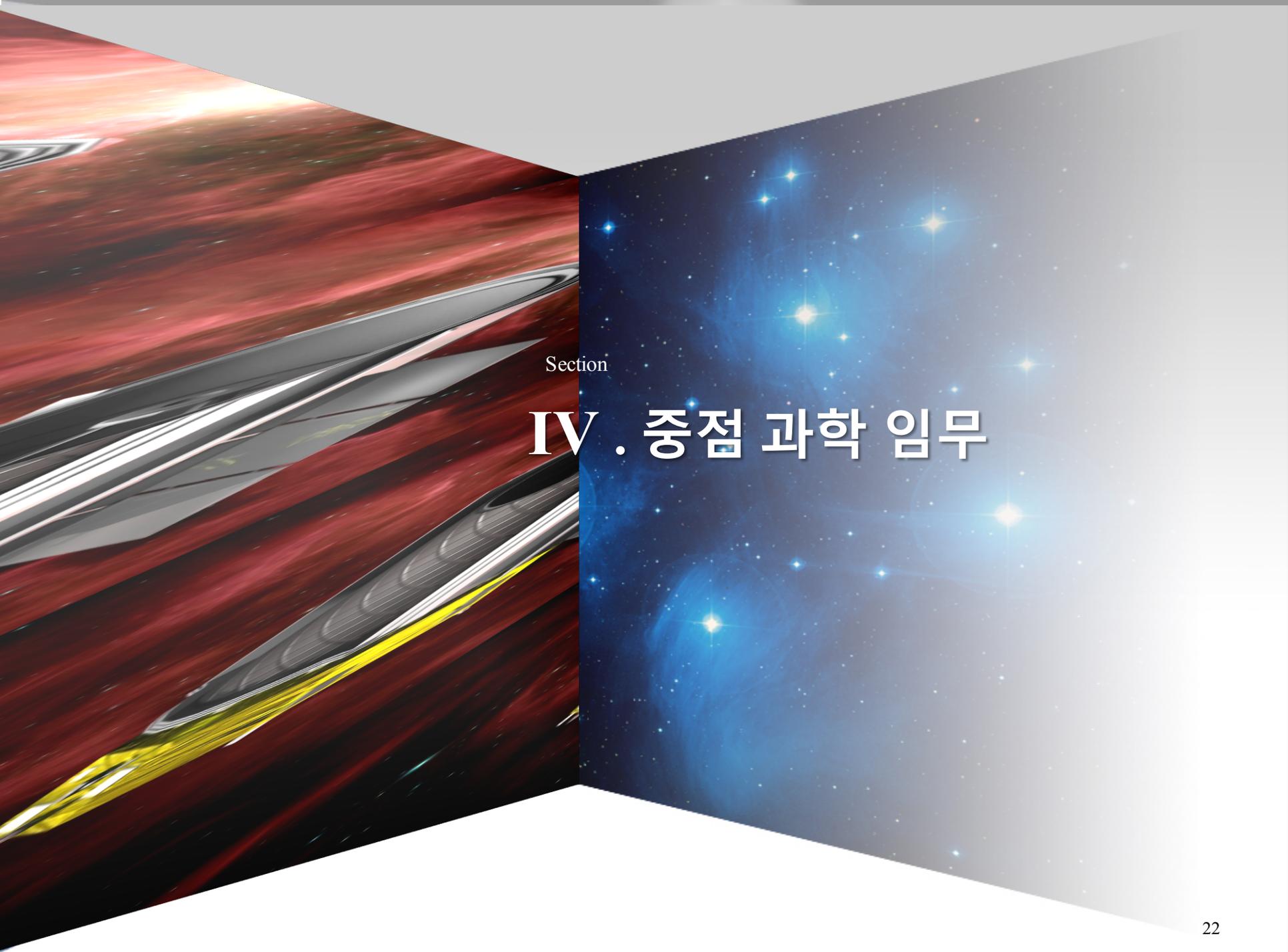
■ 궤도 조건

- 태양 동기 궤도
- 지구-태양 면에 수직
- 경사각 97.4 degree
- 고도 500km LEO (Low Earth Orbit)
- Local time of Ascending nodes 18h

■ 시뮬레이션 결과

- 관측 6개월 만에 전천의 95% 관측
- 1년 후에 100% 전천 관측 가능





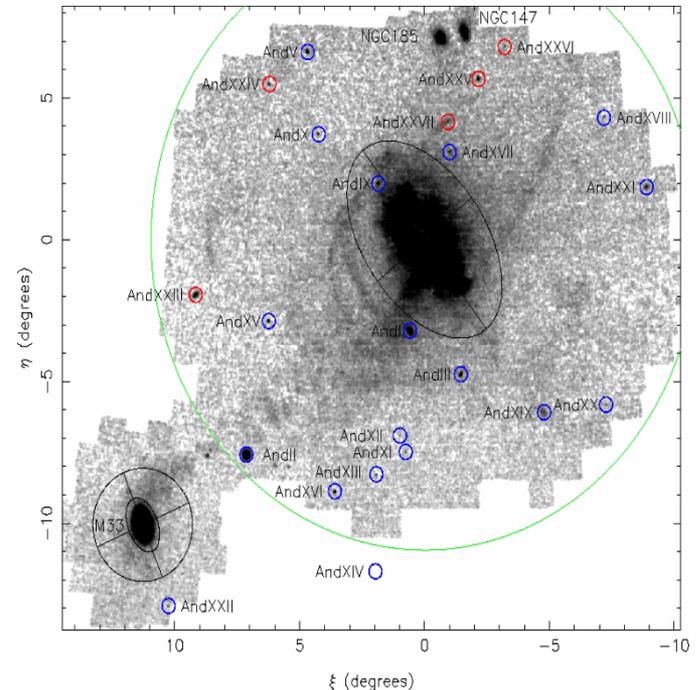
Section

IV. 중점 과학 임무

은하 진화 및 형성 연구

I 잃어버린 위성은하 문제와 극미 왜소은하의 발견

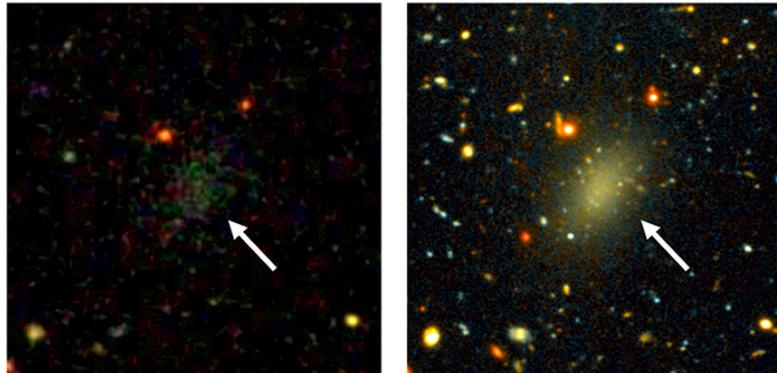
- 위성은하들은 표면밝기가 매우 어두워서 ($> 30 \text{ mag/arcsec}^{-2}$) 일반적인 지상관측으로는 그 존재를 찾아내기 매우 어렵워 어둡고 희미한 광신호를 찾아내기 위해 매우 빠른 초점비(f-ratio)를 갖는 광학계가 필요하며, 배경 잡음을 최대한 낮추고 전천탐사를 수행하기에 유리한 광시야 우주망원경이 요구됨
- 근거리 우주에서 현재까지 관측된 어두운 왜소은하의 개수는 표준우주모형의 예측하는 값에 비해 수십배 이상 적은 '잃어버린 위성은하 문제(missing satellite problem)'가 존재하며, 이들은 우주초기에 형성되었던 첫 은하의 모습을 그대로 보존하고 있다고 여겨져서 표준우주모형이 예측하는 계층적 은하병합 모델을 관측적으로 검증하기에 매우 유용한 천체임



은하 진화 및 형성 연구

I 암흑 물질 은하 연구

- Ultra-Diffuse Galaxy (UDG) 또는 Ultra-Faint Dwarf (UFD)는 LCDM 우주론과 은하형성 모형을 검증하는데 매우 중요한 대상으로 예를 들면 Dragonfly 44와 같은 경우는 크기는 우리은하와 비슷하지만 은하의 질량이 99.99% dark matter로만 이루어져 있어 그간 발견되지 않던 천체임
- 이런 류의 은하들을 새롭게 발견하는 것은 광시야 우주망원경과 같은 광학계를 가진 망원경의 역할이지만, 정밀한 후속 분광관측으로 radial velocity를 측정해야 비로소 은하의 dynamical mass를 추정하고 dark matter fraction을 알아낼 수 있으므로 거대 마젤란 망원경 (Giant Magellan Telescope, GMT)와의 연계 관측 및 연구가 필수적

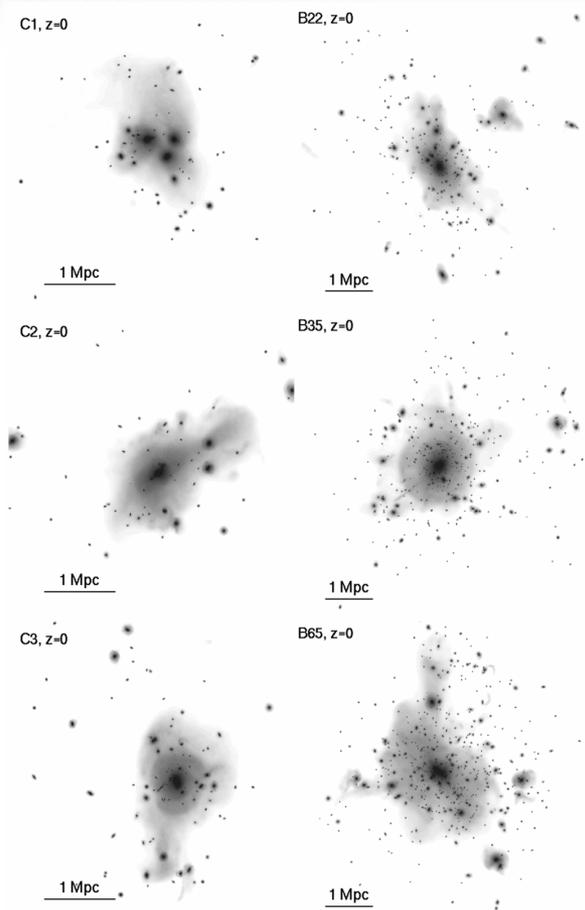


은하 진화 및 형성 연구

은하간 중력 상호작용과 은하단내 물질 분포 연구

■ 오늘날의 우주에서는 질량이 비슷한 은하간의 충돌에 의한 병합의 가능성은 낮은 반면, 질량이 낮은 위성은하가 이웃한 거대은하의 중력에 의해 빨려들어가면서 유입되거나 은하간의 중력 상호작용에 의해 은하외곽부의 별과 가스 등의 물질들이 은하간 공간으로 흩뿌려지는 현상들이 예측

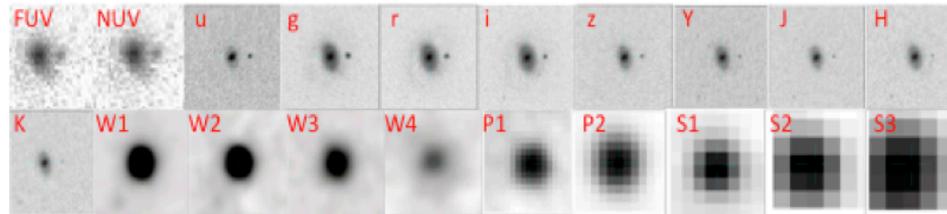
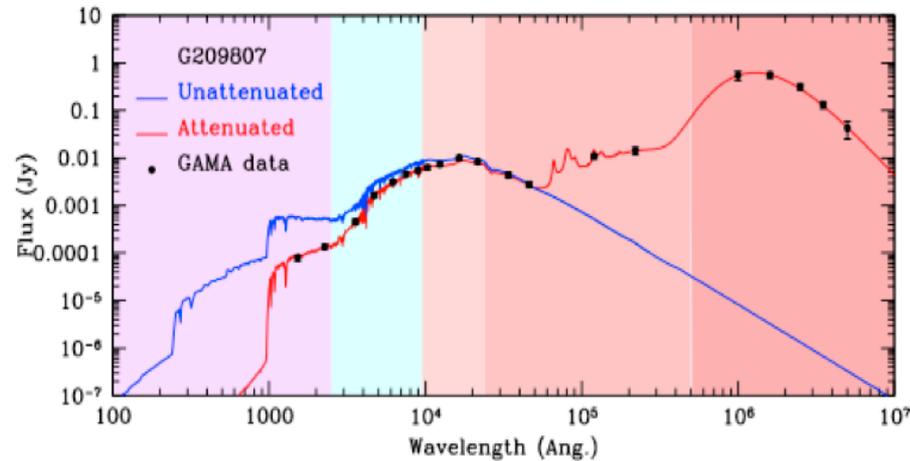
■ 우주의 은하군과 은하단에는 과거에 여러 차례 다수의 계층적 병합에 의해 거대한 하나의 암흑물질 헤일로 안에 국부적으로 높은 공간밀도를 가진 다수의 은하들이 분포하며, 은하간 중력 상호작용에 의해 은하의 형태가 어떻게 변화하는지, 그리고 은하내에 존재했던 물질들이 어떻게 은하간 공간으로 흩뿌려지는지를 추적하는 연구가 필요



은하 진화 및 형성 연구

다파장 탐사관측과 은하적분 스펙트럼을 이용한 진화 연구

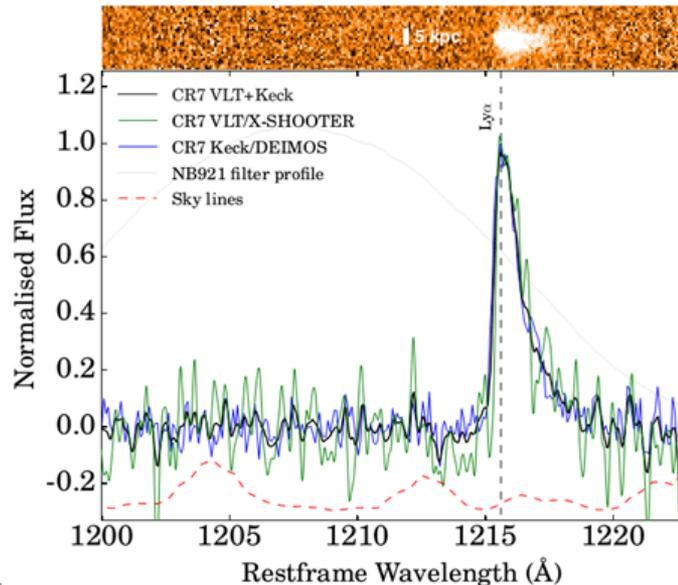
다양한 특성의 은하들에 대한 형성기원과 그 이후 진화단계에서 벌어지는 항성종족 및 성간물질들에 대한 연구를 위해서는 자외선-가시광선-적외선에 이르는 다파장 관측연구가 필요



은하 진화 및 형성 연구

우주 재이온화 연구

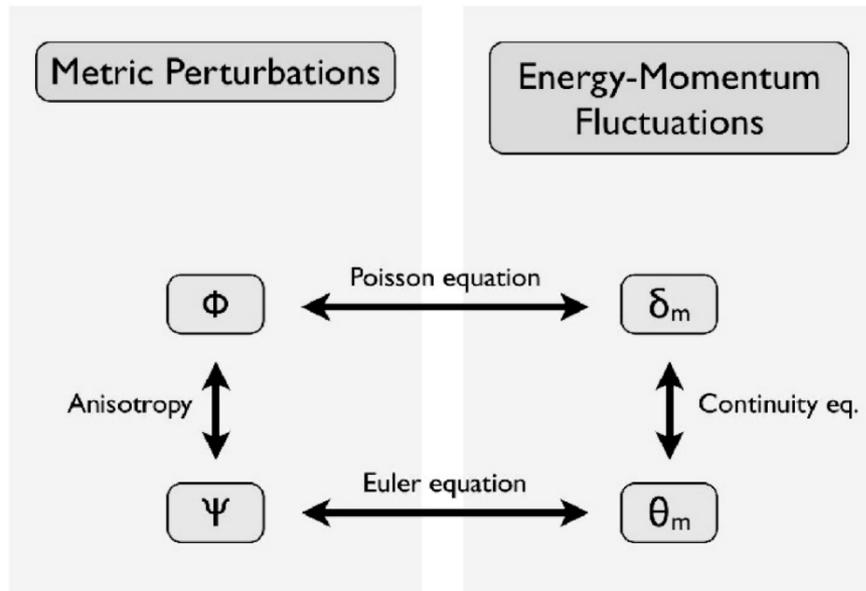
■ 한국형 우주망원경의 근적외선 영역($0.9\text{-}2\ \mu\text{m}$) 관측은, 크게 두 가지 가능성에 주목할 만한데, 첫째 mildly-high-redshift($z\sim 0.5\text{-}5$)대의 은하/항성 관측에서 있어서 관측 대상의 관측 스펙트럼 영역을 확장할 수 있어 광대역으로 은하 내 별의 initial mass function(IMF)나 spectral energy distribution(SED)를 관측할 수 있으며, 둘째 근적외선 영역의 추가는 very-high-redshift($z\sim 7\text{-}16$)의 Lyman alpha emitter(LAE) 관측이 가능



우주 거대 구조 및 진화 연구

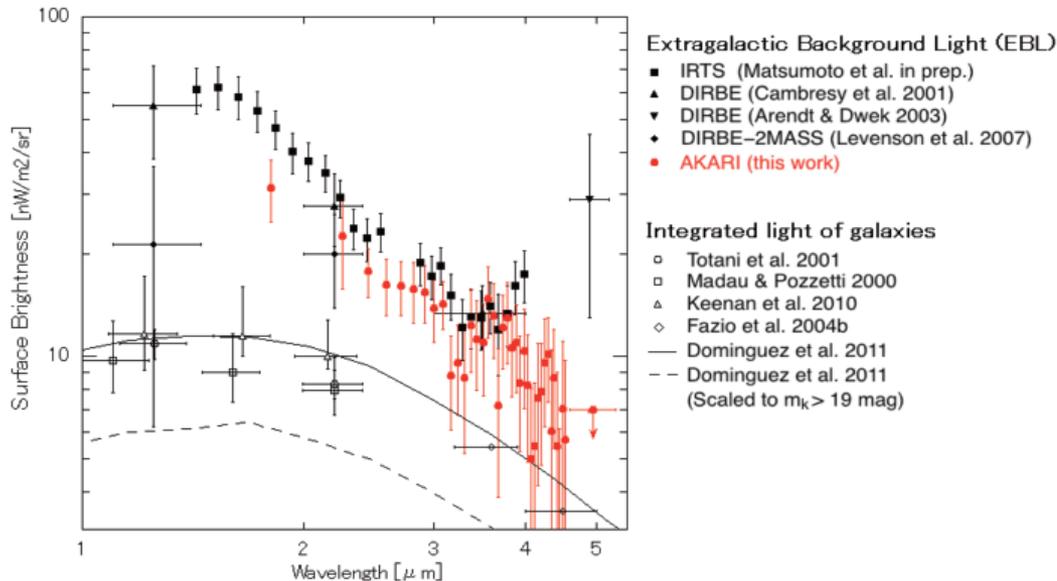
4세대 광시야 관측

- 우주팽창이 진공에너지에 의해서 가속되고 있는지 혹은 암흑에너지에 해당하는 새로운 물질이 존재하는지 여부
- 입자물리적인 방법으로 중성미자의 질량이 있다는 것은 알게 되었지만, 그 질량이 정확히 얼마인지는 4세대 광시야 관측으로 해결
- 우주배경복사 실험으로 관측한 우주초기조건의 크기와 기초적인 변화량 변수들을 재확인하는 연구



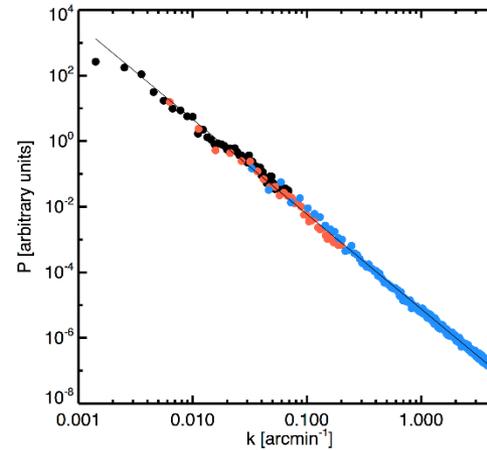
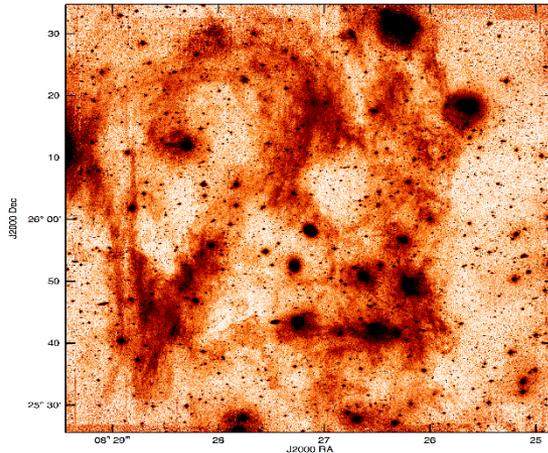
I 근적외선 우주 배경 복사

■ 외부은하 배경광은 근적외선 파장에서 뿐만 아니라 감마선부터 전파까지 넓은 파장에 걸쳐 검출되고 있지만 근원이 우리은하 바깥에 있다고 추정할 뿐 방출원이 무엇인지에 대해서는 명확히 밝혀지지 않고 있으며, 각 파장에서 검출되는 외부은하 배경광이 동일한 광원 또는 기작으로 발생하는 것인지조차 불분명



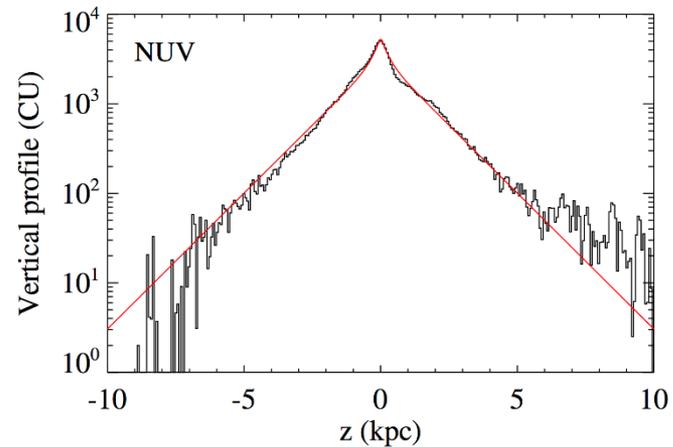
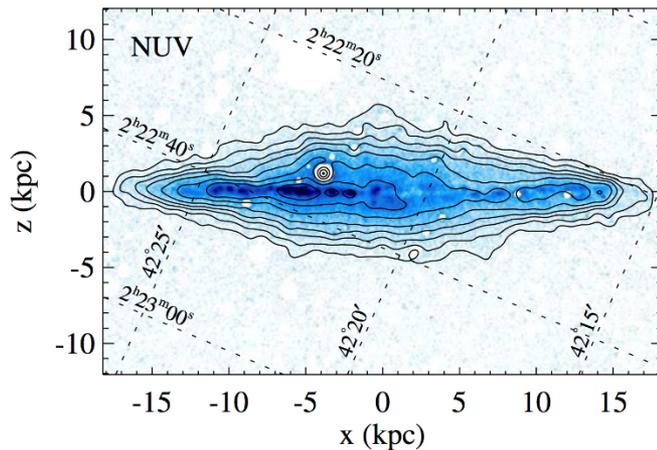
우리는하의 고위도 Cirrus 먼지 구름

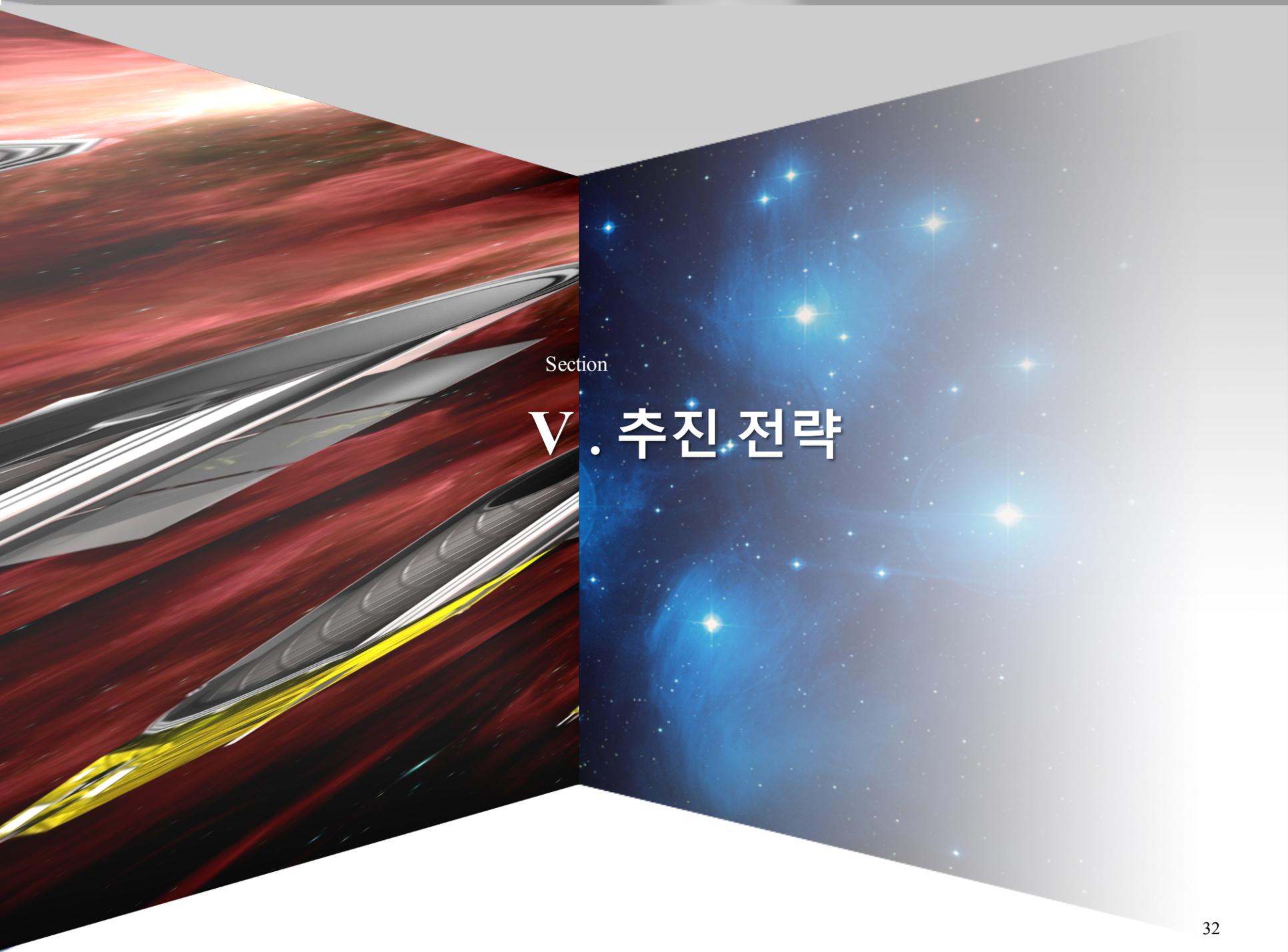
■ 1984년 처음으로 $100\ \mu\text{m}$ 관측을 통해 밝혀진 우리는하의 고위도 영역 Cirrus 먼지 구름은 자외선 및 근적외선까지의 별빛을 반사시켜서 반사성운과 같은 모습을 보여주기에 먼 우주의 정밀한 우주관측을 위해 Cirrus 먼지 구름에 대한 다파장 전천관측이 필요



가까운 외부은하 헤일로 성간먼지층 연구

■ 가까운 face-on 은하들의 나선팔과 나선팔 사이의 공간에서 관측되는 자외선이 별에 의한 것인지 성간먼지에 의한 것인지는 별탄생과 관련하여 중요한 연구 주제이며, 다파장 관측과 모델연구를 통해 성간먼지에 의한 산란광이 얼마나 많은 부분을 차지하는 지를 연구하고 헤일로의 성간먼지층과의 관계를 연구 가능





Section

V. 추진 전략

추진 체계

자원, 임무, 기술수준 등 객관적 분석결과에 근거한 전략적 추진



추진 계획

■ 총개발기간: 2021-2025 (5년)

- 2016~2017: 사업기획연구 및 R&D 기획연구
- 2018~2020: 국가 R&D를 위한 예비타당성 심사, 우주망원경 기본설계
- 2021~2025: 우주망원경, 위성체 개발 및 발사

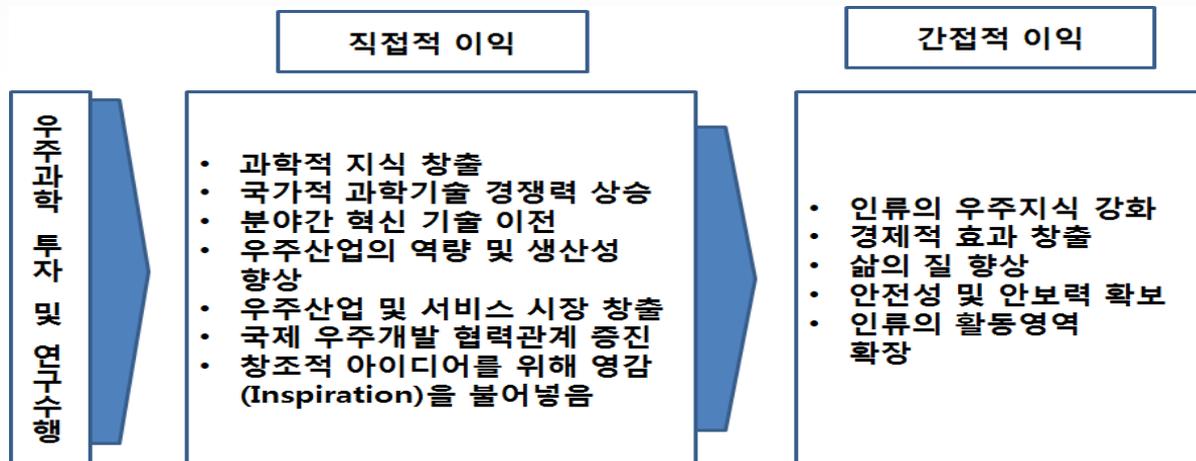
■ 총예산: 510억원 (우주망원경+위성, 발사체 제외)

- 천문연 주요사업: 10억원 (기본설계 및 계약비용)
- 국가 R&D 사업: 500억원 (우주망원경 200억원, 위성체 300억원)
- 발사체: 한국형 발사체 활용 또는 국제 협력



기대 성과

- 인류의 지식확장 기여를 통한 국가 위상제고
 - 세계적 과학 난제 규명을 통한 국가과학역량 강화
 - 우주관측 자원의 국제공동활용으로 국제 사회의 기여
 - 인류의 활동 영역확대를 위한 정보제공
- 우주기술확보를 통해 미래성장동력 창출(원천지식 확보)
 - 선진국 우주기술 습득 기회 제공
 - 탑재체 및 위성기기개발을 위한 국내 우주기술 자립화
 - 우주기술 산업화를 통한 신 시장 발굴
 - 빅데이터 활용 및 분석을 통한 산업기술 개발



우주망원경 로드맵

우주망원경을 이용한 우주기원 및 진화 연구



기획연구 보고서 책자

2016.11 인쇄



KASI

감사합니다

