

탐사 전용 대형망원경을 이용한 한국 주도 남반구 분광탐사 계획

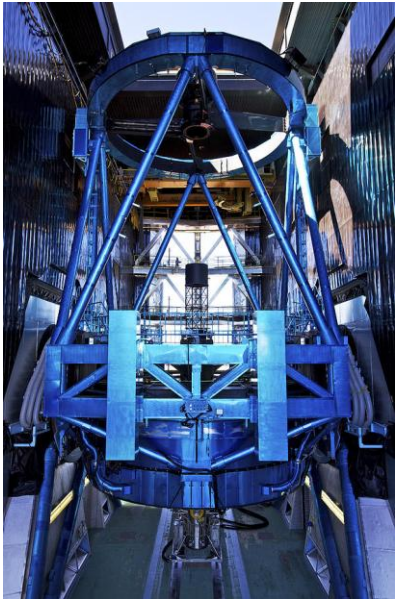


홍성욱¹, 김윤종¹, 김재우¹, 박병곤¹, 박창범², 샤피엘루알만¹, 손주비³, 양성철¹, 이충욱¹, 천상현¹,
한정열¹, 황호성³, David Parkinson¹
¹한국천문연구원, ²고등과학원, ³서울대학교

AI-generated image

광학망원경 이용 대규모 탐사

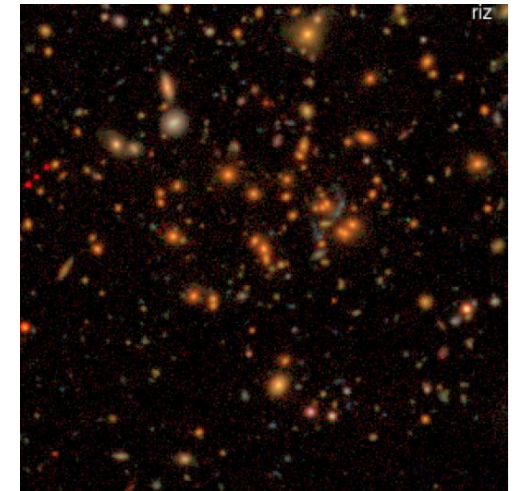
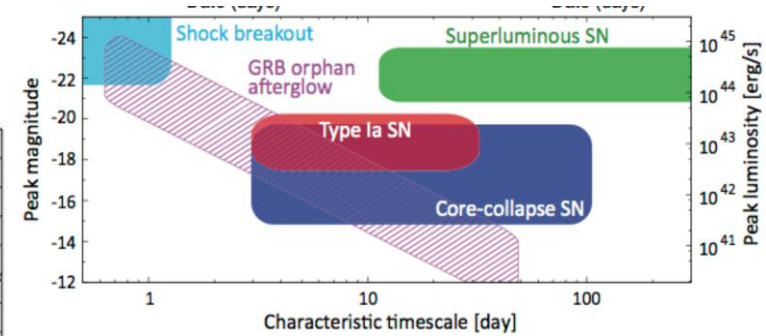
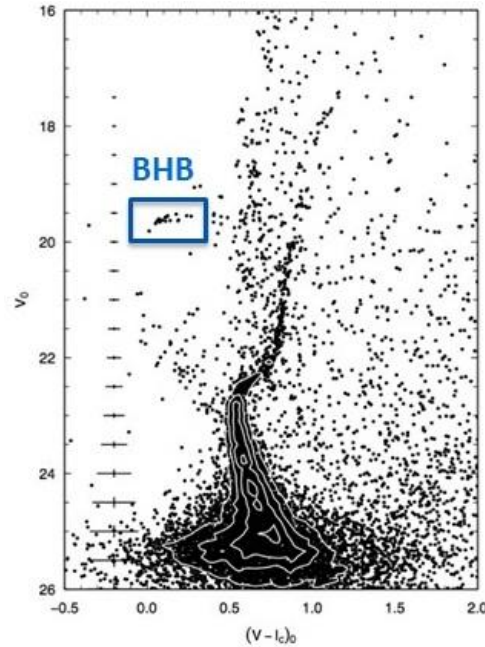
영상 탐사



수바루천문대
HSC-SSP
8.2m, 1.5도, 2012-



루빈천문대
LSST
8.4m, 3.5도, 2024-



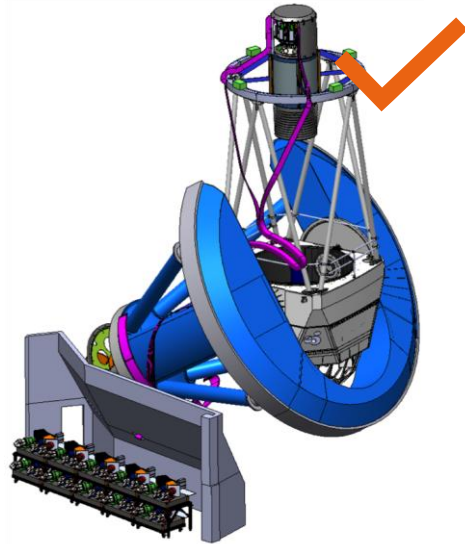
- 각 천체의 구체적인 특성 위해 스펙트럼 필요!

광학망원경 이용 대규모 탐사

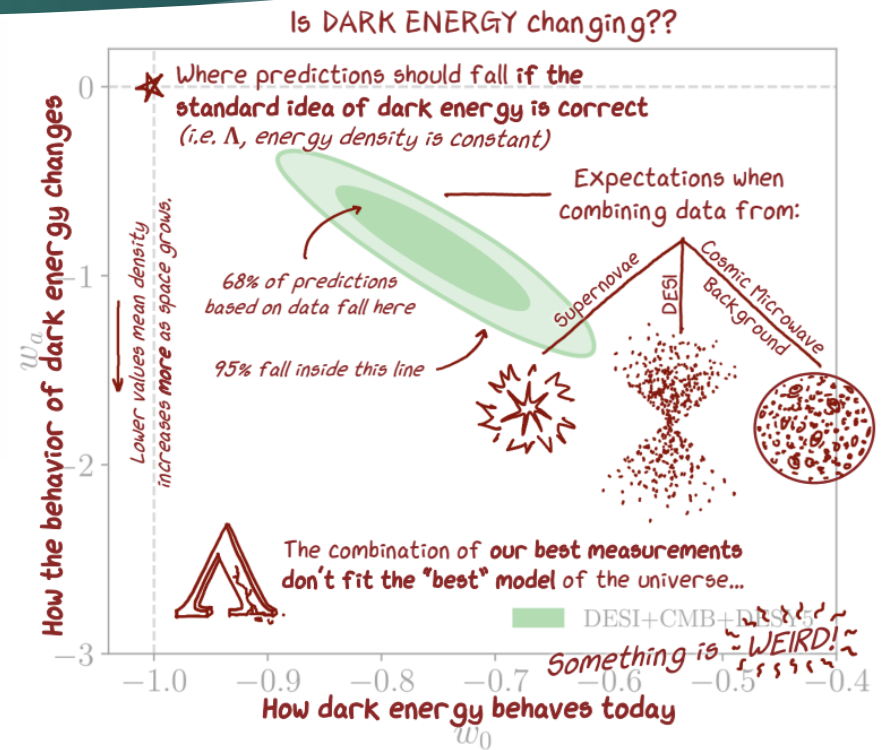
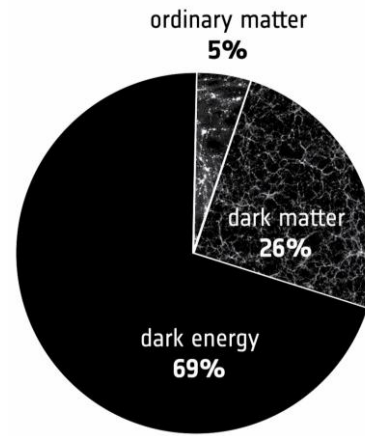
분광 탐사



아파치천문대
SDSS
2.5m, 2000-



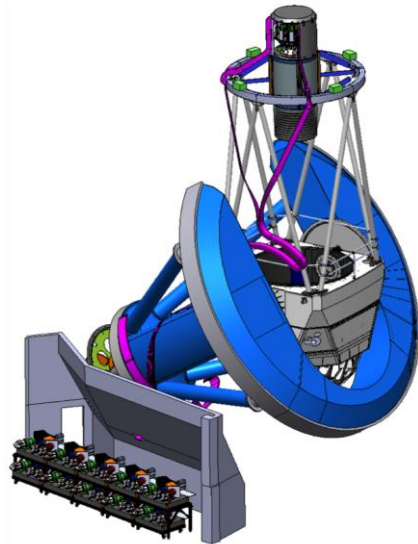
키프피크천문대
DESI
4m, 2019-



- 최초의 천체 및 어두운 천체에 관한 이해 불완전
- 초기 우주의 상태 및 물질 분포에 관한 이해 불완전
- 아인슈타인의 중력 이론에 대한 검증 불완전

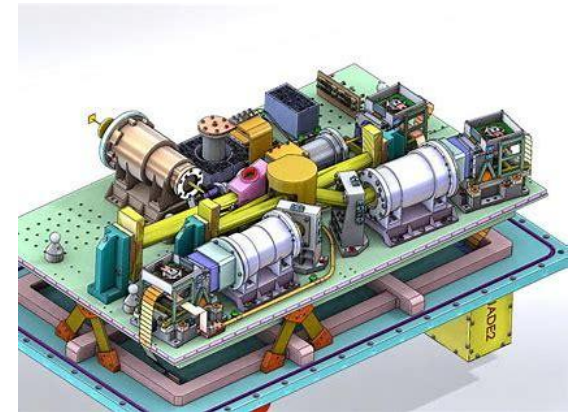
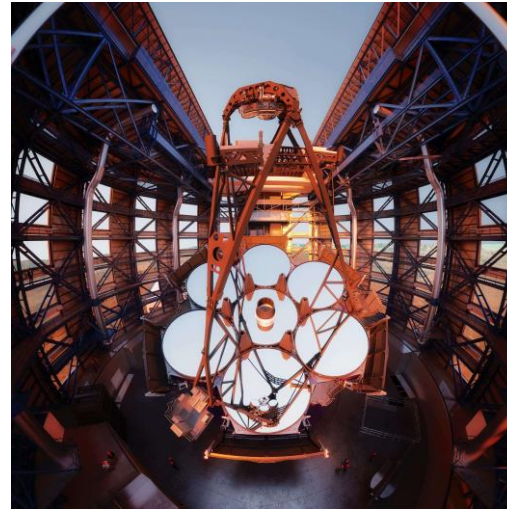
대한민국과 분광탐사

대한민국의 기존 연구



- 해외 분광탐사에 참여해 수준 높은 연구 수행

대한민국의 보유 역량



- 세계 최대의 광학망원경 건설 참여
- 최첨단 가시광/적외선 분광기 개발 역량 보유

주도적 분광 탐사 수행 역량 갖추

대한민국과 분광탐사

SDSS

DESI

BOES

IGRINS 1/2

1995

2000

2005

2010

2015

2020

2025

보현산천문대

레몬산천문대

KMTNet

Gemini

대형
광학/적외선
망원경 건설
기초연구

8m급
대형망원경
건설 기획연구

멕시코에 분광
전용 6.5m
망원경 설치
추진 → X

차세대 분광탐사 연구
논의 재개

K-SPEC
다천체 분광탐사기기 개발

A-SPEC Survey

Korea Microlensing Telescope Network (KMTNet)

Three identical 1.6m telescopes with a prime-focus imaging camera
2.8 deg diameter field-of-view = **best for the spec. survey**

1st stage

~165,000 galaxies + metal-poor stars, quasars, etc in ~10,000 deg²
-84°.8 < Declination < -21°.4



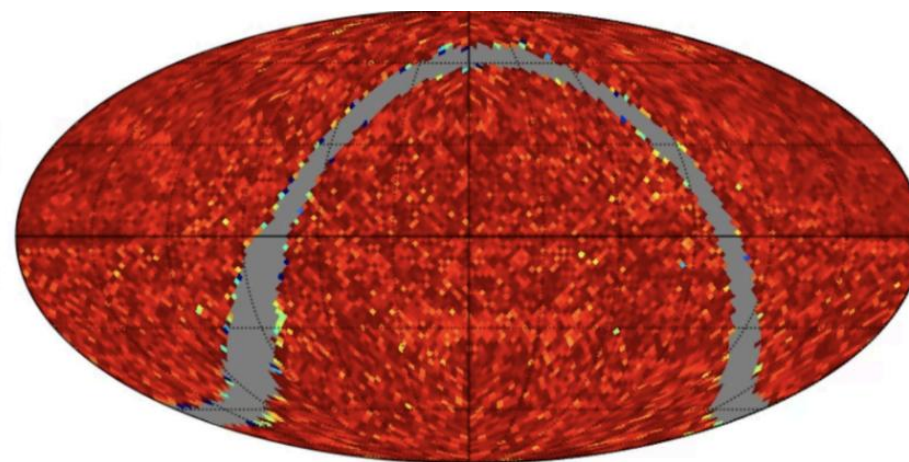
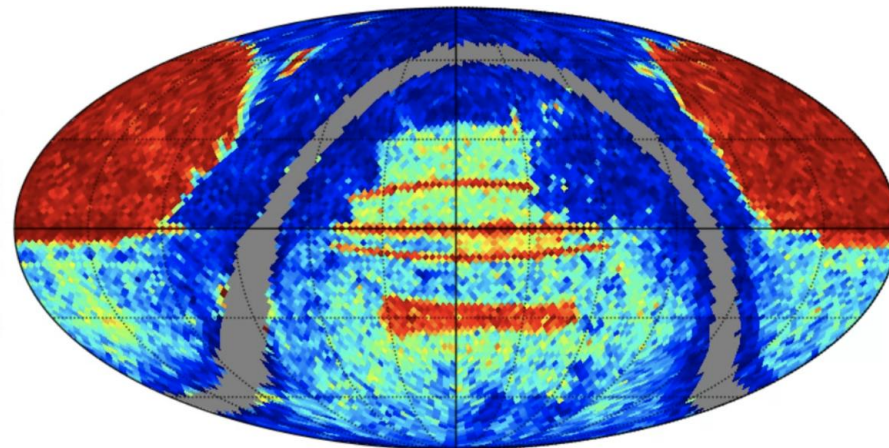
Aiming >90% completeness

- For Ks<13.75 galaxies (~782,000 sources)

Currently, for Ks<13.75 galaxies

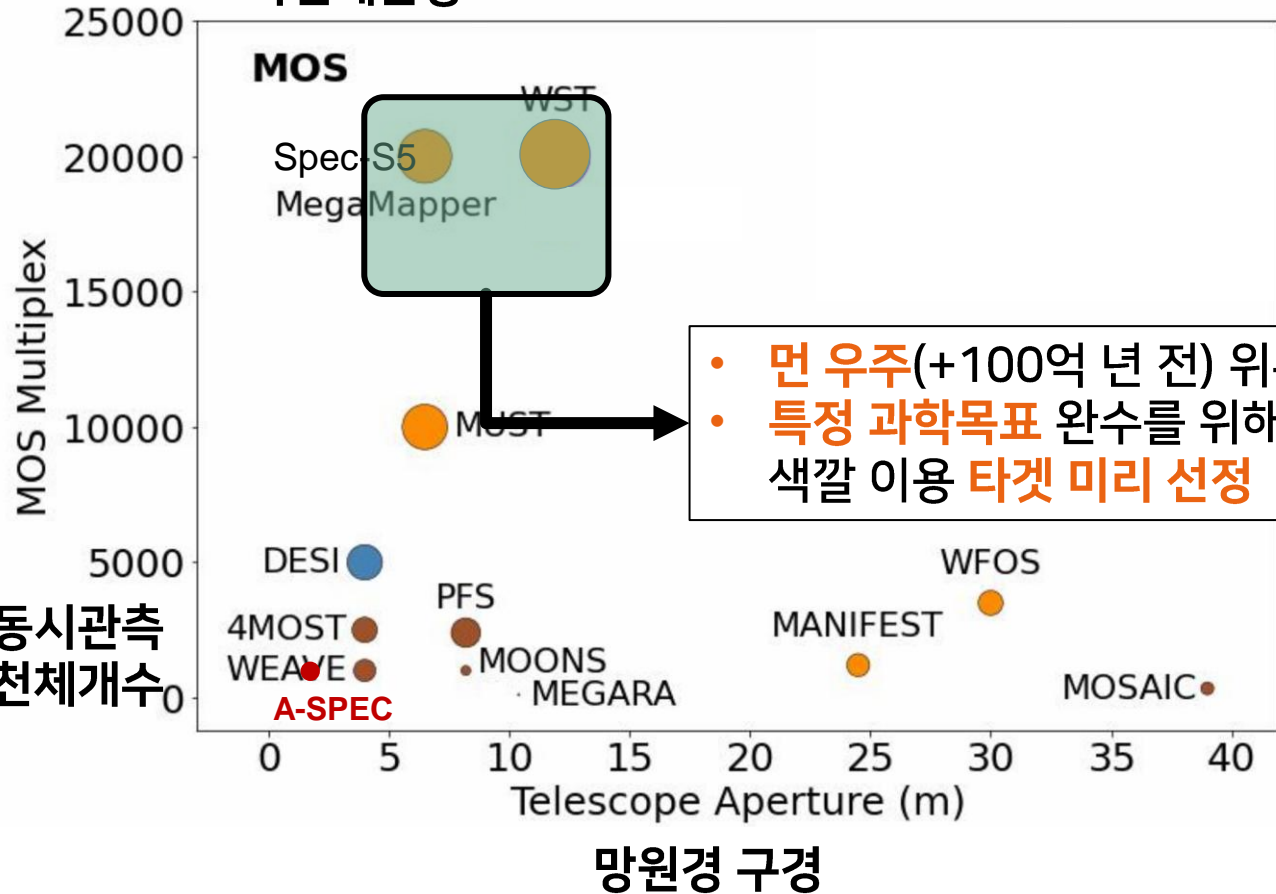
- 41.9% completeness for decl.<22.3

- 33.6% completeness for decl.<0



차세대 분광탐사... 대한민국은?

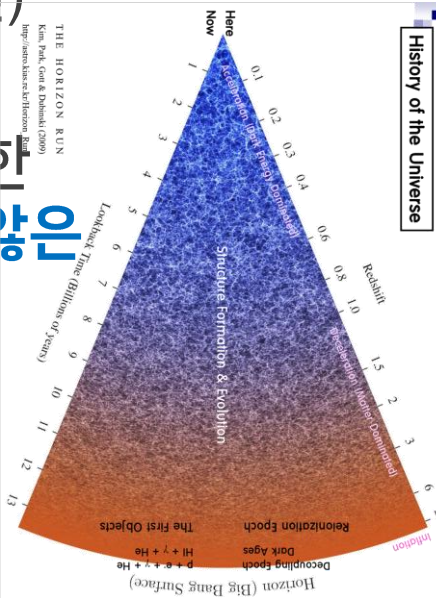
다천체분광



- 먼 우주(+100억 년 전) 우주
- 특정 과학목표 완수를 위해 색깔 이용 타겟 미리 선정

특정 밝기 이상 천체 모두 탐사 (Flux-limited Survey)

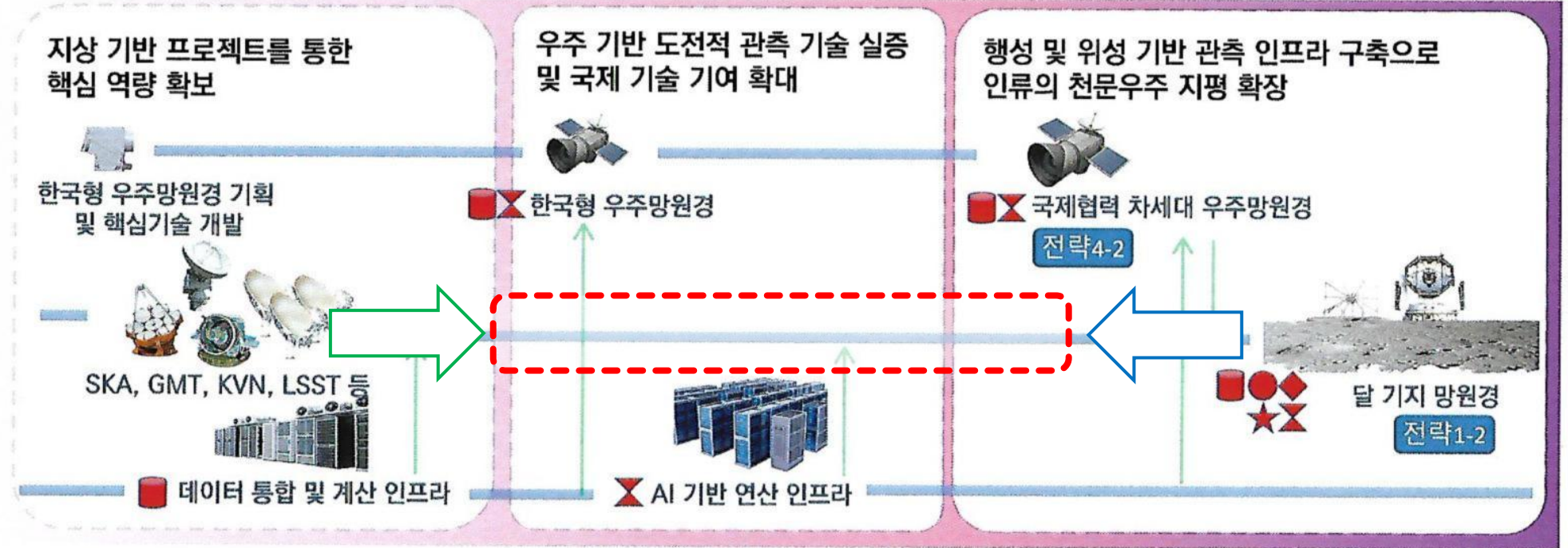
- 암흑에너지의 영향력이 가장 큰 가까운 우주(0-80억 년 전) 천체 관측 개수 극대화
- 암흑에너지 등 미리 지정한 과학목표 외에 기대하지 않은 발견 가능



천체물리 우주탐사 장기목표를 위한 징검다리

(출처: 우주항공청 [대한민국 우주탐사 로드맵 의견 수렴을 위한 공청회] (25.7.17) 설명자료)

천체물리



1

우주망원경 및 달 기지 망원경 건설 기술의 지상 기반 검증

2

뉴스페이스 기술 및 AI/빅데이터 인프라를 통한 우주산업 생태계 확장

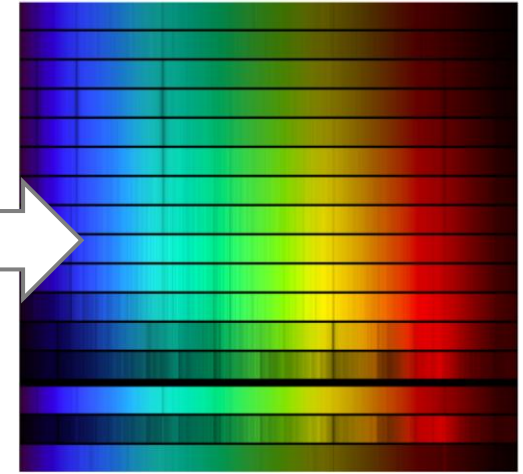
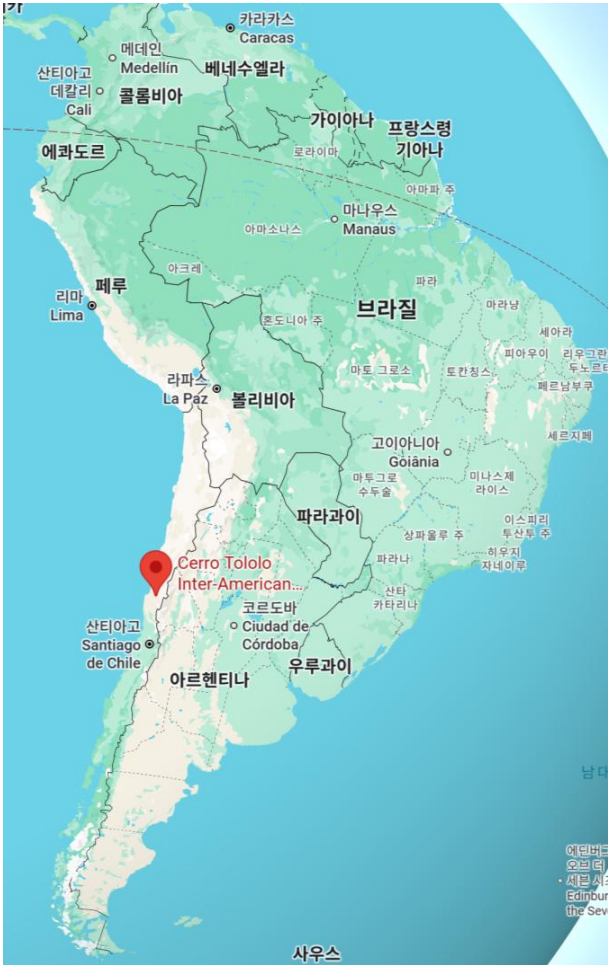
3

우주의 기원과 진화, 생명체 존재 신비에 대한 과학적 통찰 습득

4

기존 국제 우주탐사와의 연계 및 글로벌 파트너십 확장

2 x 6.5m 광학망원경을 이용한 남반구 분광탐사



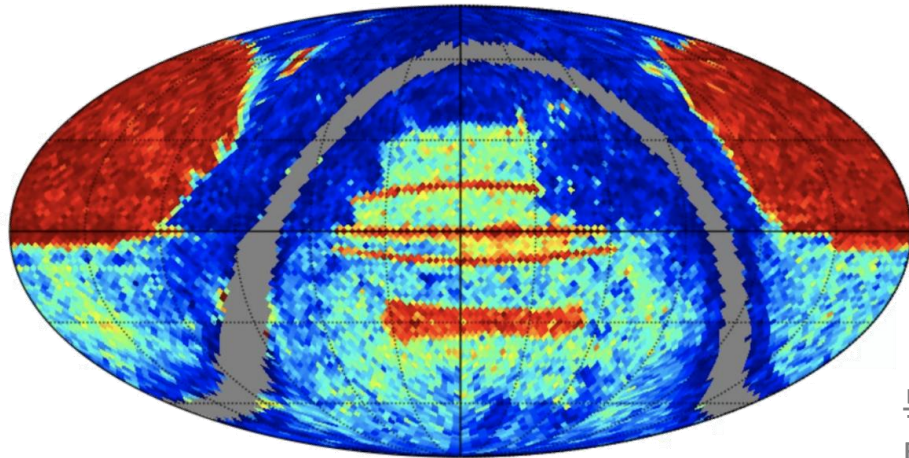
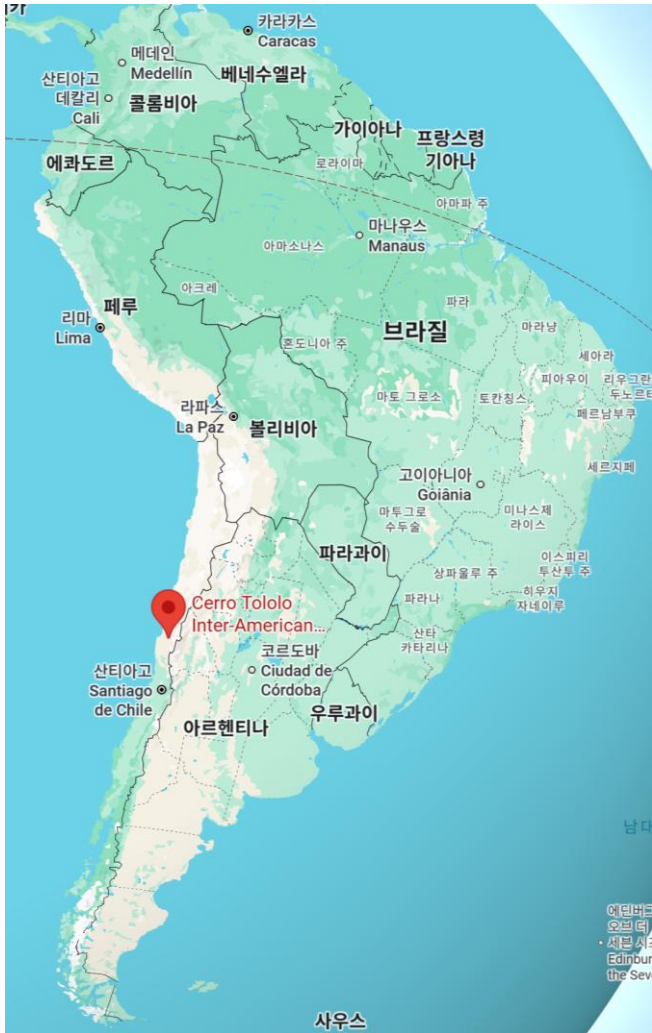
2 x 6.5m 광학망원경 남반구 분광탐사 개요

- 남반구(예: 칠레)에 구경 6.5m급 쌍둥이 광학망원경 건설
- 초정밀 로봇을 이용해 한 번에 최대 1만 3천 개의 별과 은하의 스펙트럼 관측
- 남반구 하늘 전체에서 약 2억 개 천체의 스펙트럼 빅데이터 확보
- 분광탐사 시작 '37년 경 (목표). 총 건설비용 약 5천억 원 (추정)

Q. 왜 남반구인가?

왜 남반구인가?

- 남반구 하늘은 LSST로 수많은 새로운 천체를 찾을 수 있지만, 본격적인 대규모 분광탐사는 거의 이루어지지 않은 **기회의 땅**
- 칠레는 전세계에서 가장 **시상**(0.6~0.8")과 **청정일수**(연간 300일 이상)가 좋아 우주를 보는 최적의 장소 (대한민국은 시상 1.5" 이상, 청정일수 연간 100일 이하로 적합하지 않음)
- 칠레는 대한민국의 정반대에 위치해, 대한민국의 **낮시간**에 우주를 볼 수 있음



0 completeness 1

북반구(윗쪽)와 남반구(아랫쪽) 하늘의 기존 분광 탐사 실행 수준의 차이 (출처: A/K-SPEC)

타 우주탐사와의 연계성



KLST ('30년대 후반-)

LSST ('25-)

GMT ('30년대 중반-)

심우주 우주망원경

달 기지 망원경

SKA ('25-)

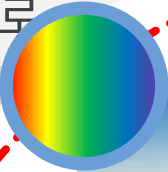
같은 천체에
대해 전파와
광학 스펙트럼
동시 확보

LSST 영상탐사로
찾은 천체의
성질을
스펙트럼으로
자세히 이해

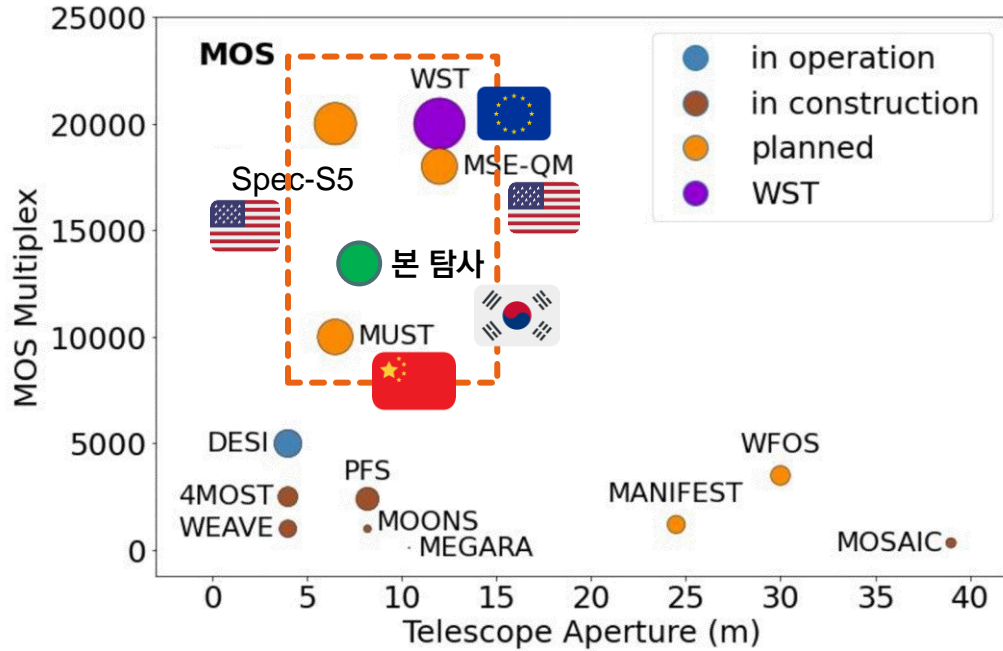
분광탐사에서 찾은
흥미로운 천체를
GMT로 자세히 연구

- 우주망원경 개발
관련 기술 확보
- 과학 연구 교차 검증

달 기지 망원경
개발 기반 기술
확보



Q. 왜 구경 6.5m급 쌍둥이 망원경인가?



왜 6.5m급인가?

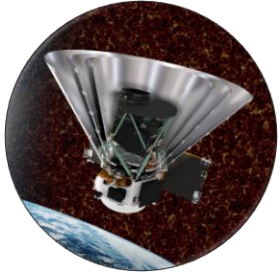
- 세계 주요 국가는 DESI와 같은 4m급 망원경을 이용한 분광탐사를 '20년대에 이미 수행했거나 수행을 준비 중
- 해외 차세대 분광탐사 계획은 대부분 '30년대 중후반 이후 6m급 이상 망원경 이용을 목표로 함
- 6.5m 두 대는 GMT 건설시기인 '30년대 후반에 국내기술로 도전 가능하면서 동시에 세계 선도적인 과학적 역량을 갖출 수 있는 최적의 크기

왜 쌍둥이 망원경인가?

- 동시에 같은 천체를 관측하면 최대 9.2m급 집광력 확보 가능
- 너무 가까워서 망원경 한 대로는 한번에 보기 어려운 두 천체도 망원경 두 대로는 한번에 관측 가능
- 같은 곳에 설치하면 유지보수 시설 및 인프라 공유가 가능
- 칠레 외의 장소에서는 동등한 관측 품질을 얻기 어려움



Q. 기존 대한민국 참여 우주탐사와의 차별성은?



SPHEREx

- SPHEREx는 **하늘 전체**를 바라보며 우주의 대략적 3차원 지도를 작성 가능. 하지만 **구경(20cm)**, **공간 분해능(6'')**과 **스펙트럼분해능 (~100)**이 모두 낮아 각 천체의 위치와 성질을 파악하기 어려움
- 본 탐사는 대형망원경을 활용하고 공간분해능(1'')과 스펙트럼분해능(6,000/28,000)이 모두 높아, **남반구 하늘의 더 자세한 3차원 지도 작성**이 가능



LSST

- LSST는 남반구 하늘을 **가장 깊이** 탐사하는 영상탐사. 발견하는 천체의 개수는 본 탐사보다 훨씬 많으나, **스펙트럼 정보가 없기** 때문에 각 천체에 대한 정보 및 3차원 지도 작성 능력에 제한이 있음
- 본 탐사는 분광탐사이기 때문에, 스펙트럼 관측을 통해 **천체의 구체적 인 성질**을 알 수 있고 **3차원 지도 작성도 구체적**으로 수행할 수 있음



GMT

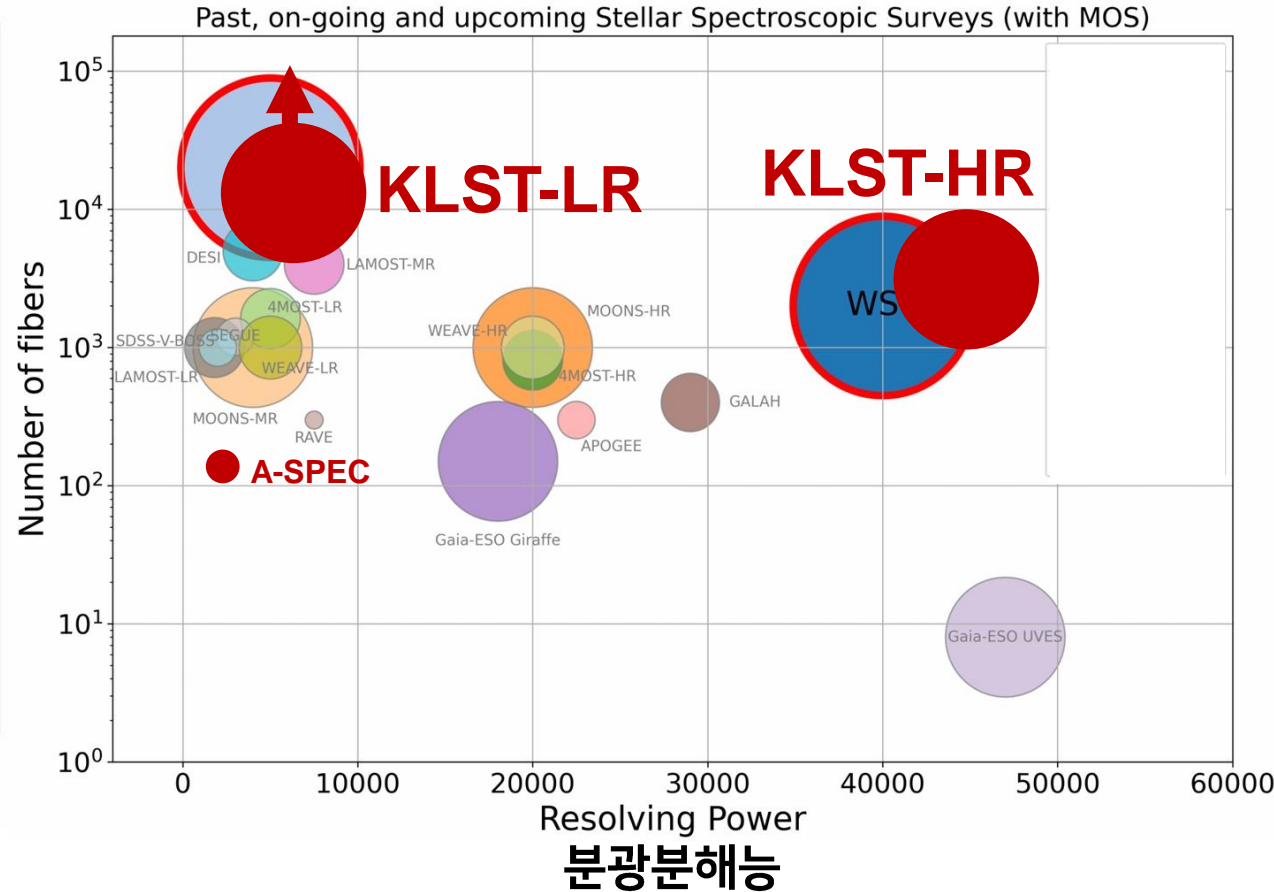
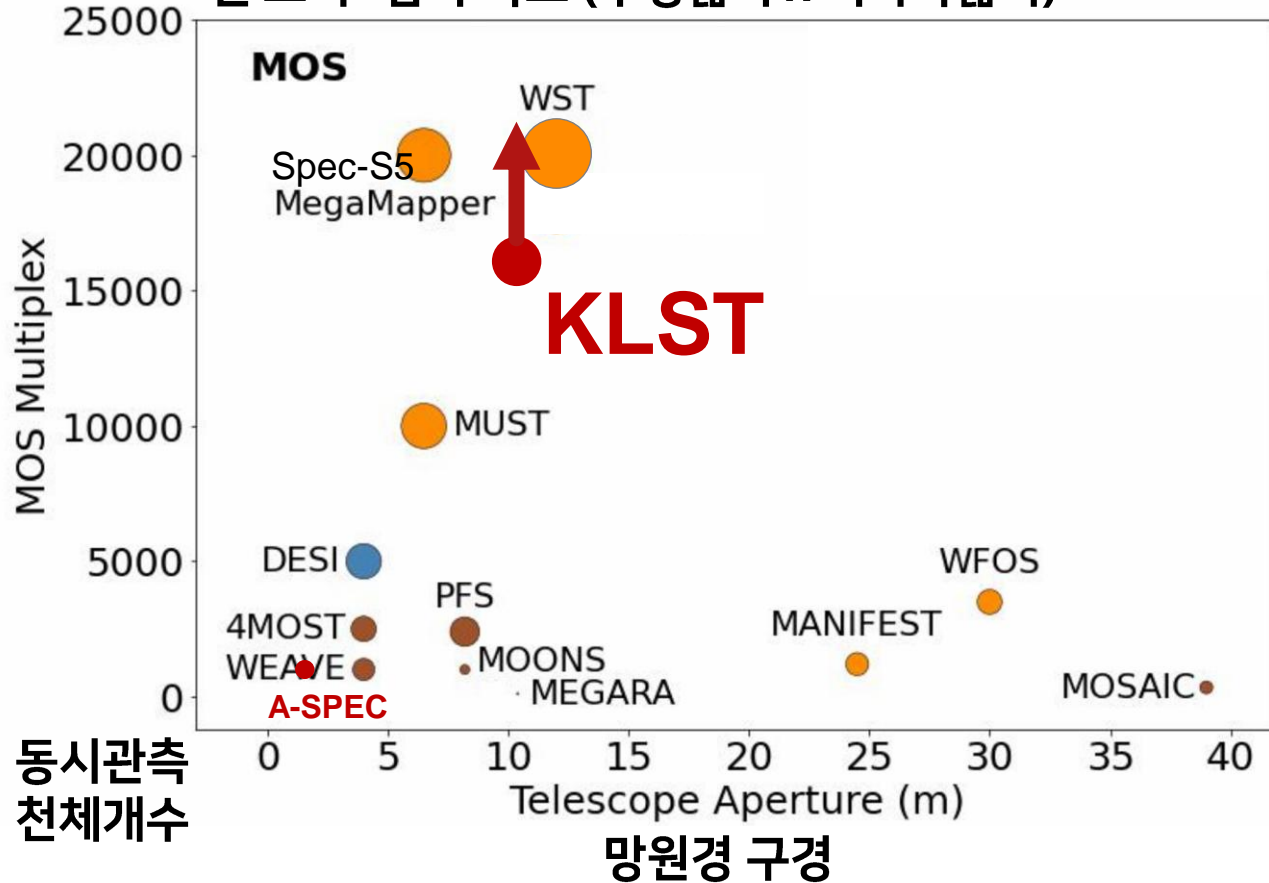
- GMT는 세계 최대 규모의 망원경. 외계행성 등 특정 천체의 스펙트럼 등을 **매우 자세하게** 연구하기 위한 범용 망원경. 제작 목적 상 **장시간 광시야 탐사**에 사용하기에 적합하지 않음.
- 본 탐사에서 얻는 단일 천체의 정보는 GMT보다 떨어질 수 있으나, 시야각(1.8°)이 넓어 GMT로는 다루기 어려운 **넓은 하늘을 관측 가능**

KLST 기기 주요 요구사항

- ▶ 망원경: 6.5m x 2대 (최대 유효구경 9.2m) 남반구(예: 칠레)
- ▶ 파장대역: 가시광선+근적외선
- ▶ 시야각(field of view): 지름 1.8deg, 넓이 2.5deg²
- ▶ 분광분해능(spectral resolution): 6,000(저분산), 45,000(고분산)
- ▶ 1회 최대 관측가능 천체개수(multiplex): 13,000(저분산), 3,000(고분산)
- ▶ 광섬유 포지셔너(fiber positioner), 적분장(integral field) 필요.

기기 주요 요구사항

원 크기: 탐사 속도 (주경넓이 x 시야각넓이)

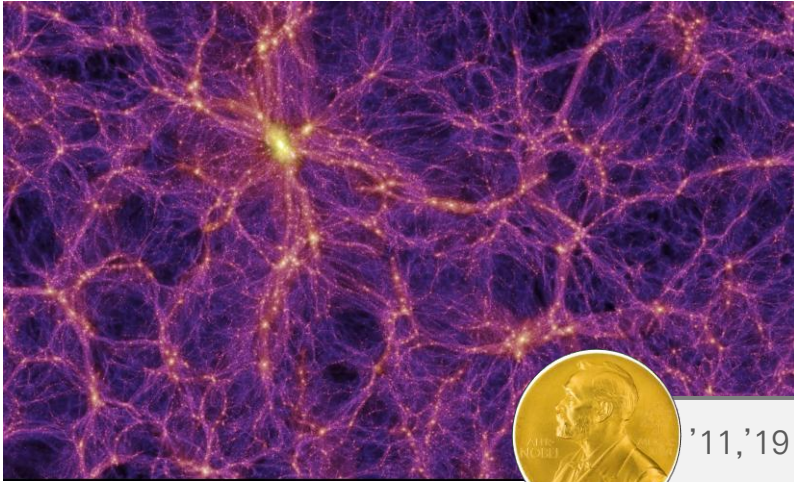


What is unique is our surveys?

<표> 해외 주요탐사와 국내 분광탐사 추진계획의 차이점

탐사	주경 사이즈	파장 범위	천체 개수	분해능	은하 관측 등급
SDSS	2.5m	360 ~ 980 nm	1,000	$R \approx 4,000$	- (I-II단계) r~17.77등급 (편향 없음) - (III단계) i~19.9등급 (색상 선택) - (IV단계) i~21.8등급 (색상 선택)
DESI	4m	360 ~ 980 nm	5,000	$R \approx 2,000 \sim 5,000$	- r~19.5등급 (편향 없음)
Spec-S5	6m	360 ~ 980 nm	~ 20,000	$R \approx 2,000 \sim 5,500$	- r~21.5~22 등급
MegaMapper	6.5m	360 ~ 980 nm	20,000	$R \approx 2,000 \sim 5,500$	- 미정 (색상 선택)
PFS	8.2m	380 ~ 1,260 nm	2,400	$R \approx 2,500 \sim 5,500$	- J~23.4등급 (색상 선택)
MSE	10m	360 ~ 1,800 nm	20,000	$R \approx 2,500 \sim 40,000$	- i~23등급 (색상 선택)
WST	12m급	350 ~ 1,600 nm	2,000 ~ 20,000	$R \approx 40,000$	- 공개자료 없음(색상 선택)
ESST	12m급	360 ~ 1,800 nm	30,000 ~ 50,000	$R \approx 3,000 \sim 4,000$	- 공개자료 없음
국내 분광탐사 계획	6.5m *2기	370 ~ 1,800 nm	3,000~ 13,000	$R \approx 6,000 \sim 45,000$	- r~21~22등급 (편향 없음)

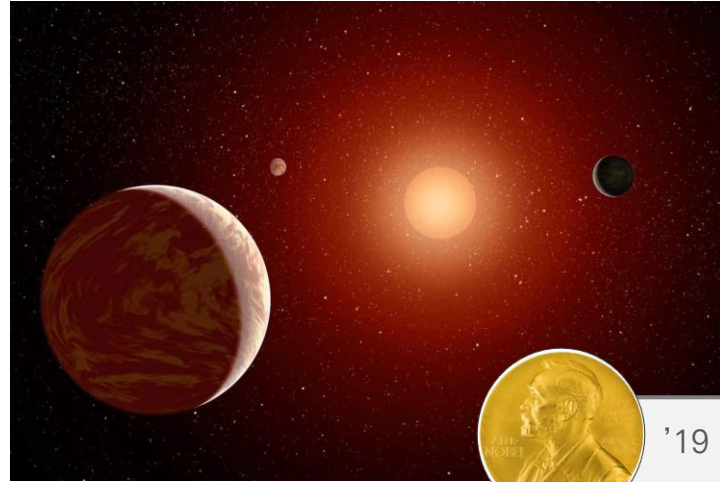
남반구 분광탐사가 해결할 우주의 궁극적 질문



'11,'19

우주의 3차원 지도 작성

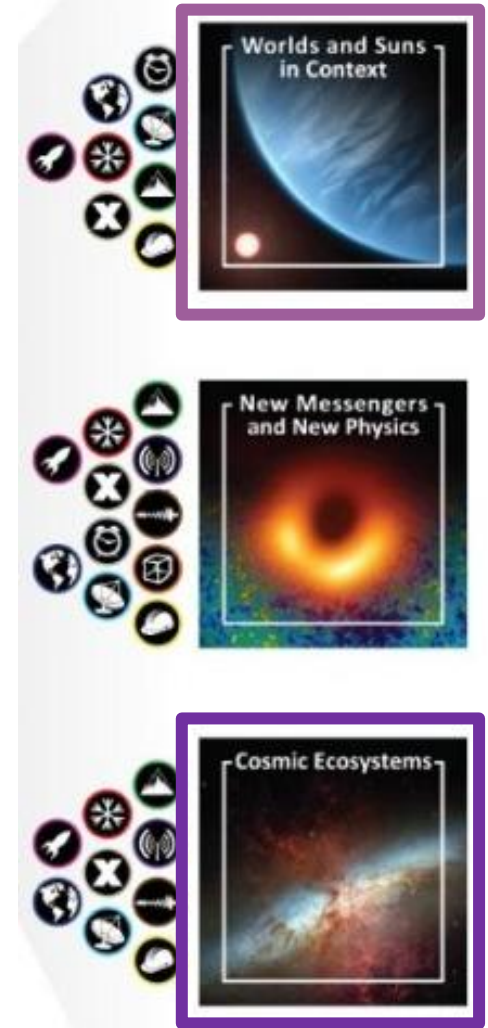
- 암흑에너지: 우주 전체 에너지의 **70%** 차지. 정확한 정체는 **불명**
- 암흑에너지의 성질에 따라 우주의 변화 양상과 미래가 결정
- 우주의 3차원 지도 작성을 통해 **우주 전체 역사의 $\frac{2}{3}$** 동안 암흑에너지의 특징 추적



'19

M형 왜성 분광분류

- M형 왜성: 우리 은하의 별 중 **76%** 차지. 너무 **어두워서** 아직 미지의 천체
- 외계생명체가 살기에 적합한 **골디락스존**을 가장 많이 가지리라 예상
- **우리 은하 중심부에서 바깥쪽까지** M형 왜성 및 소속 외계행성 탐사

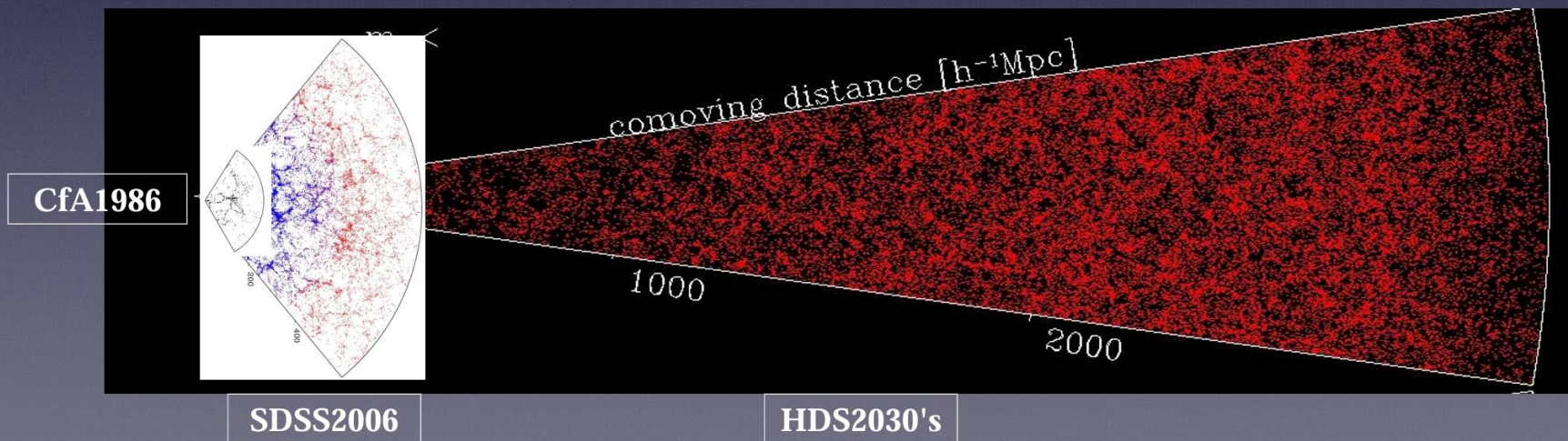


미국 천문우주학회
Decadal Survey의
3대 주요 목표와도 부합

Hubble Depth Survey

- A complete spectroscopic survey of the local universe

1. **Deep** ($z \sim 1$) \rightarrow evolution of universe (DE science) & tracers
2. **Wide** (area $\gg 1000 \text{ deg}^2$) \rightarrow large scale structure sciences (initial conditions)
3. **Dense** (mean $d \sim < 5 h^{-1}\text{Mpc}$) \rightarrow physics of galaxy formation. high-order statistics
4. **Complete** \rightarrow no sampling biases. unexpected findings. satellite system survey / dark halo survey
5. **Compatible** with parallel surveys \rightarrow sparse & deeper rare object surveys (LRGs, ELGs, QSOs ...)



Proposals: Cosmology WG

Author	Properties	Title	Physics
Changbom Park, Stephen Appleby	FoV > 1deg, 10,000 multiplexes/ telescope R~6,000	Hubble depth survey statistics	Galaxy bias, groups, luminosity function
Changbom Park, Stephen Appleby		Small Scale Topology of Large Scale Structure	Expansion history, redshift space distortion
Donghui Jeong		Exploring the Origin of Cosmic Structures: Probing Inflationary Clustering Fossils with KLST	PNG, clustering fossils, features in the PPS
David Parkinson, Sungwook E. Hong, Haeun Chung	R=6000, Near-IR sensitivity $\lambda_{max} = 11000 \text{ \AA}$	Observing the distribution of galaxies in the Redshift Desert with KLST	BAO, redshift space distortion

Survey Specifications

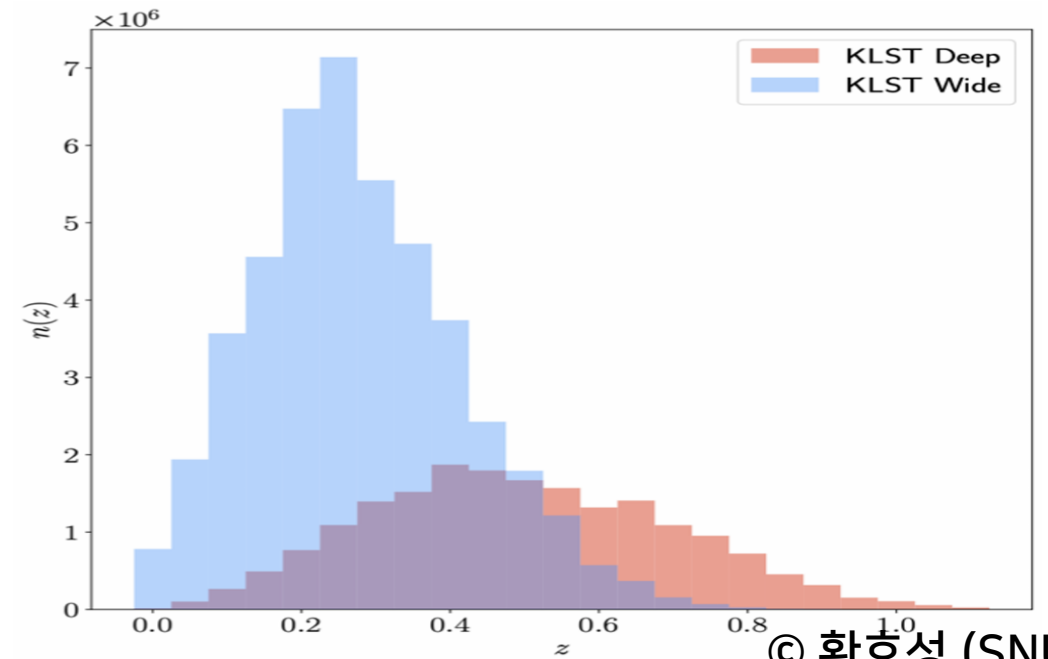
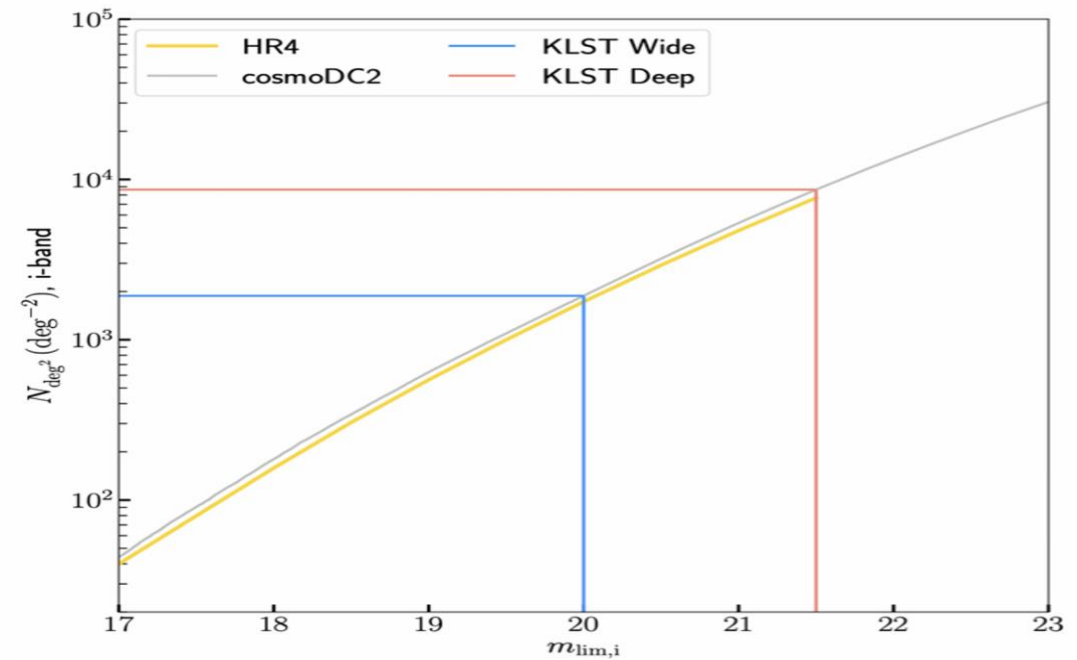
Spectroscopic survey with two 6.5m telescopes

1. Wide Survey — 50 Million Galaxies flux-limited with $m_i < 20$ over $\sim 24,000 \text{ deg}^2$

Spectral R = 6000, 0.5hr exposures, multiplexing of $2 \times 10,000$.
A few x 350 days

2. Deep Survey — 20 Million Galaxies, flux limited with $m_i < 21.5$ over $\sim 2,500 \text{ deg}^2$

Spectral R = 6000, 2hr exposures, multiplexing of $2 \times 10,000$.
A few x 700 days



Spectroscopic survey proposal II: Redshift Desert Survey

Photometric catalog

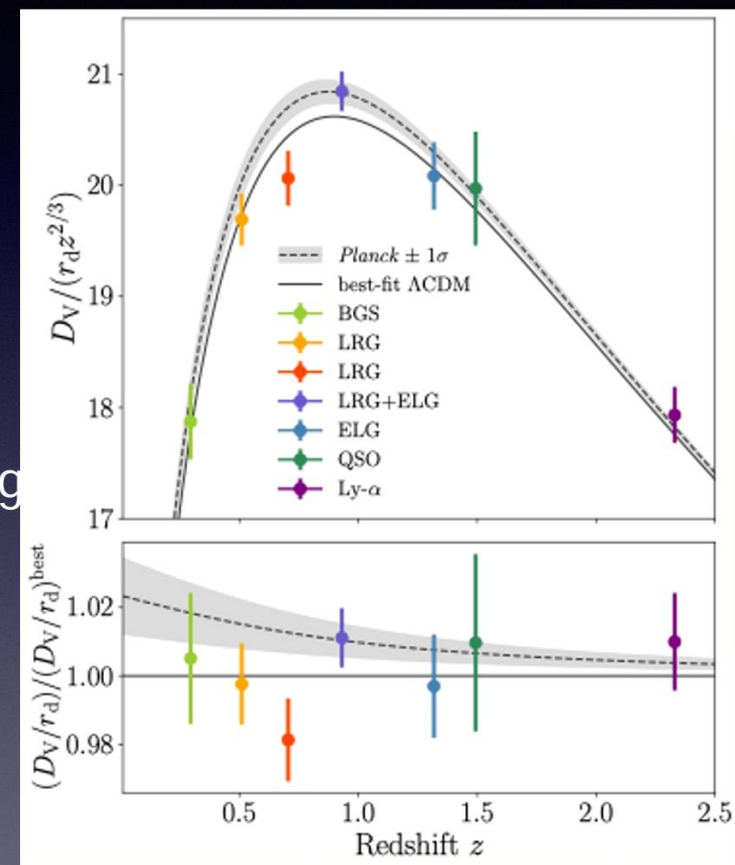
- galaxies with $i_{\text{limit}}=24$ ($z_{\text{max}} \sim 1.7$)
→ $n_{\text{sky}} = 80,000$ gal/deg²

Spectroscopic survey

- 200 nights with ~8 hr exposures, multiplexing of 20,000
→ a flux-limited sample of ~4M redshift desert galaxies covering ~50 deg

Applications of the RDS data

- Missing measurements in redshift desert, where $\Omega_{\text{DE}} \rightarrow 0$
- BAO measurements trace optical galaxies with easy to detect lines: most at $z < 1.5$ (LRG and ELG) or $z > 2.3$ (QSO and Ly- α)



- **Tracing evolution of Galaxies at $z < 1-2$**

- ★ Star formation activity
- ★ Gas-phase metallicity
- ★ Stellar populations : mass, velocity dispersion, age, stellar metallicity

- **Active Galactic Nuclei at $z < 1$**

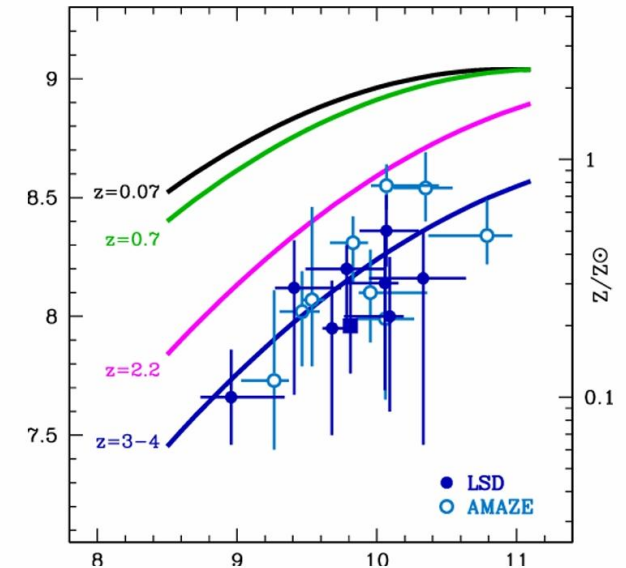
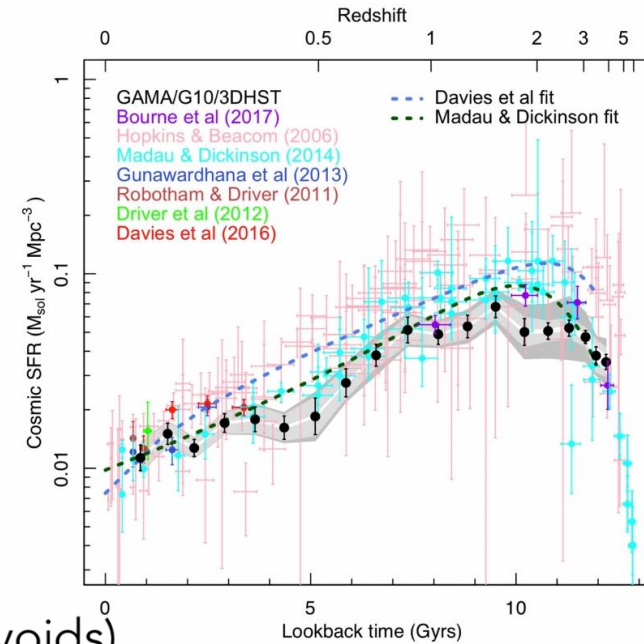
- ★ Higher resolution spectroscopy ($R > 4000?$)
- ★ Time-series spectroscopy?
 - Require some additional survey strategies

- **Dwarf Galaxies**

- ★ Faint dwarf galaxy confirmation ($z \sim 0.02$, $R \sim 3000$)
- ★ Local volume dwarfs (Virgo, Coma, Fornax, groups, voids)
- ★ Their globular clusters?

- **Galaxy Clusters ($z < 1.5$, $R \sim 1500-3000$)**

- ★ Identification, membership
- ★ Infall region - mass evolution of clusters



Availability of Integral Field Spectroscopy

The following two options could be available. We will give serious consideration of these options depending on the request of the user community.

1. Switching between IFS and MOS modes
 1. Similar to the case of MaNGA and BOSS in SDSS .
 2. Available only for one telescope.
 3. Examples of various IFU configurations can be found on page 5.
2. Combining both IFS and MOS
 1. Similar to the case of Wide-field Spectroscopic Telescope.
 2. The entire field of view (FoV) is covered by fibers, as shown on page 3, except for the very central region where one IFU is located (the FoV of IFU is not fixed).

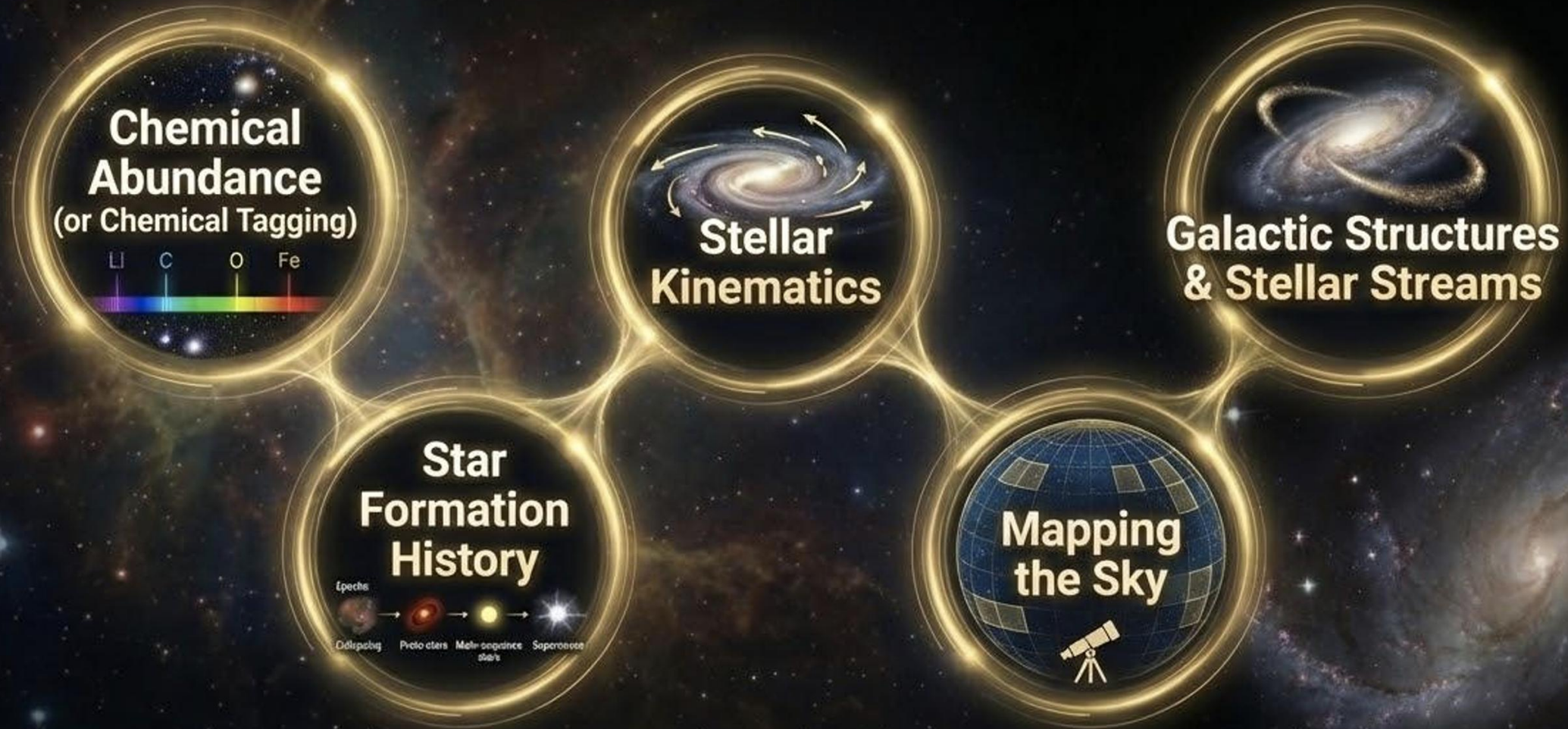
Proposals: Extragalactic Science WG

© 황호성 (SNU)

Name	Title	Targets	IFS	IFS Option	Spectral Resolution	Physical Parameters
Myungshin Im	TBD					TBD
Sang Hyeok Im (SNU)	Studies of Dark Matter Halos in and around Satellite Galaxy Systems through Wide and Deep Spectroscopic Surveys 넓고 깊은 분광 탐사를 통한 은하 규모 암흑물질 헤일로 및 딸린 은하 연구	Satellite Systems	Yes for host galaxy ($R > 1.5'$)	Single big IFU with MOS	R=6000	Kinematics of satellite galaxies and of host galaxy star light
Hyungjin Joo (Yonsei)	Studies of the Formation and Evolution of Intracluster Light Using KLST-IFS KLST-IFS를 이용한 은하단 내광의 형성 및 진화 연구	Clusters	Yes (Largest FoV with $105.6'' \times 105.6''$)	Single big IFU without MOS (mode change)	Not mentioned (probably R=6000)	Age, Metallicity, Kinematics of ICL
Bumhyun Lee (Yonsei)	The KLST/IFU Survey of Merging Clusters KLST/IFU 병합 은하단 분광탐사	Galaxies experiencing RPS in Merging Clusters	Yes (Fov: $10.6'' \times 10.6''$ (or $26.4'' \times 26.4''$))	Multiple IFUs without MOS (mode change)	R=6000	Star/gas distribution and kinematics, star formation history and ionization source
Jong Chul Lee (KASI)	A Near-Infrared Integral Field Spectroscopic Survey of Nearby Star-Forming Galaxies 가까운 별 형성 은하에 대한 근적외선 집적분광 탐사	Star-forming galaxies	Yes (J-K bands for Paschen lines)	Multiple IFUs without MOS (mode change)	R=6000	Star formation rate + dust maps
Jubee Sohn (SNU)	Studies of Nearby Galaxy Clusters through Deep and Complete Spectroscopic Surveys 깊고 완전한 분광 탐사를 통한 가까운 우주의 은하단 연구	Clusters	Yes for BCGs	Single big IFU with MOS	R=6000	Internal velocity dispersion, stellar population, and kinematics of cluster galaxies
Jaewon Yoo (KASI)	Study of Intracluster Light (ICL) and Cluster Evolution Using the KLST Spectroscopic Survey KLST 분광서베이를 통한 은하단내광(ICL)과 은하단 진화 연구	Clusters	Yes for BCGs	Single big IFU with MOS	Not mentioned (probably R=6000)	Age, Metallicity, Kinematics of ICL; Kinematics of cluster galaxies

Most Frequently Mentioned Key Words in the Key Sciences of these survey programs

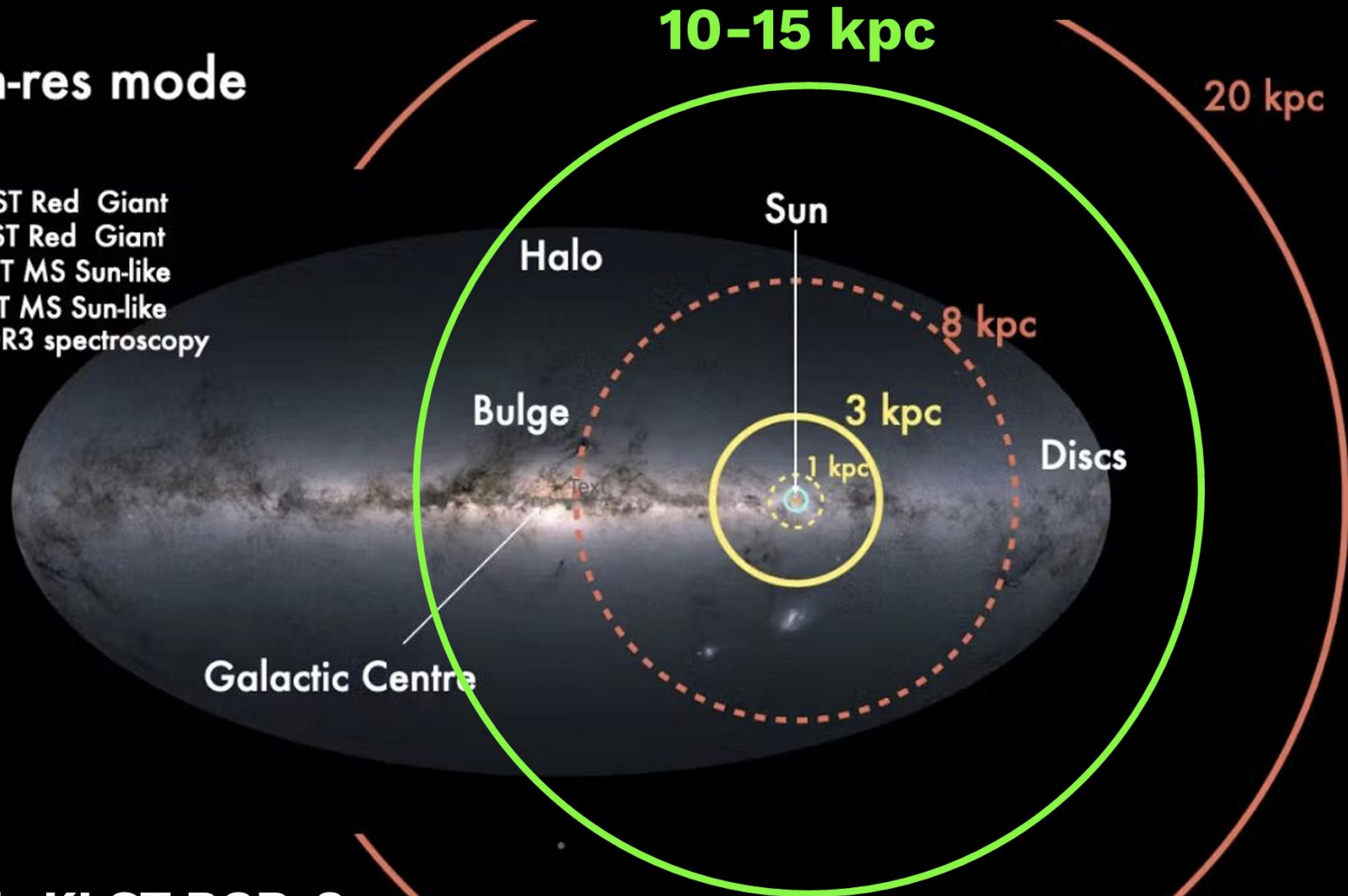
Korea Astronomy & Space Science Institute



What can be done using KLST?

WST high-res mode

- 4MOST Red Giant
- WST Red Giant
- 4MOST MS Sun-like
- WST MS Sun-like
- Gaia DR3 spectroscopy



Preliminary Requirements For KLST

* **NIR coverage** is important

* **Multiplexing**

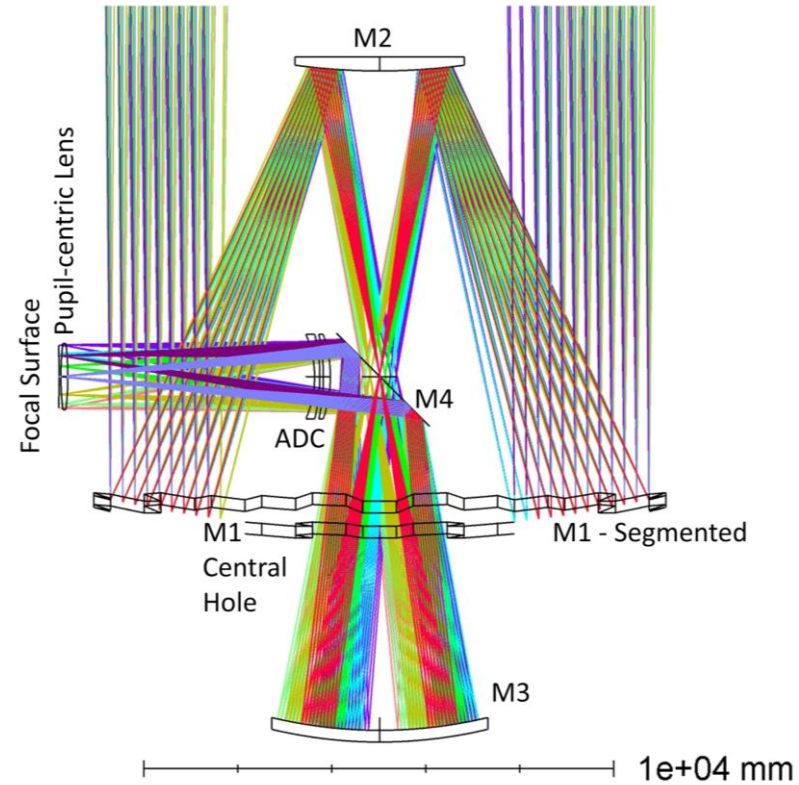
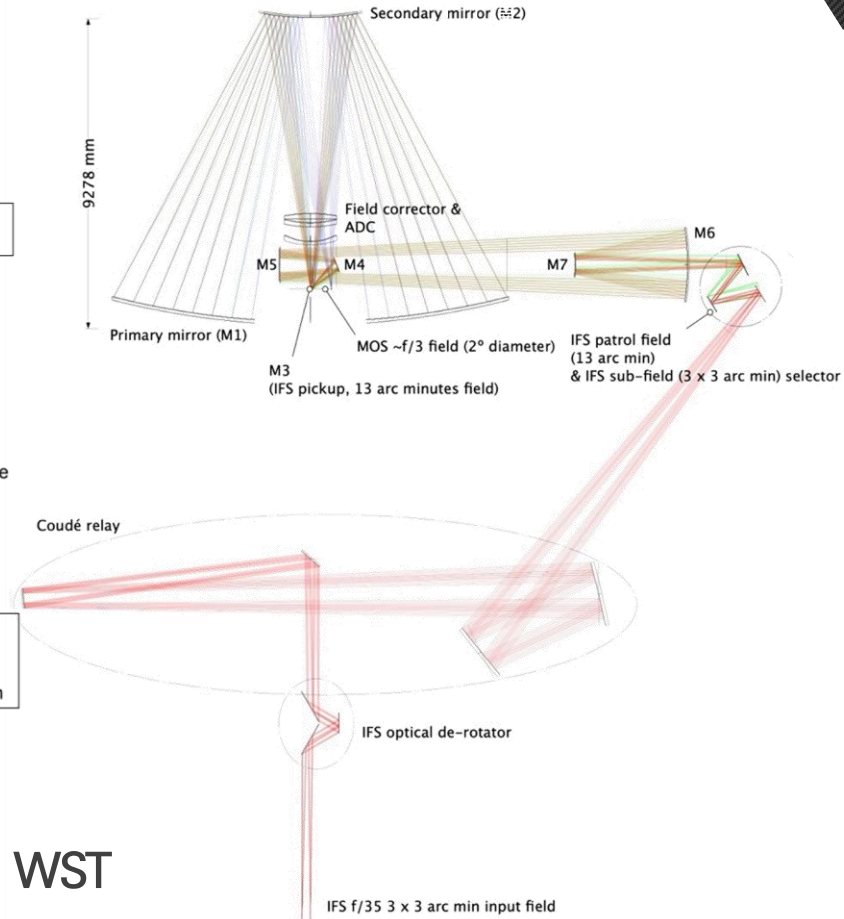
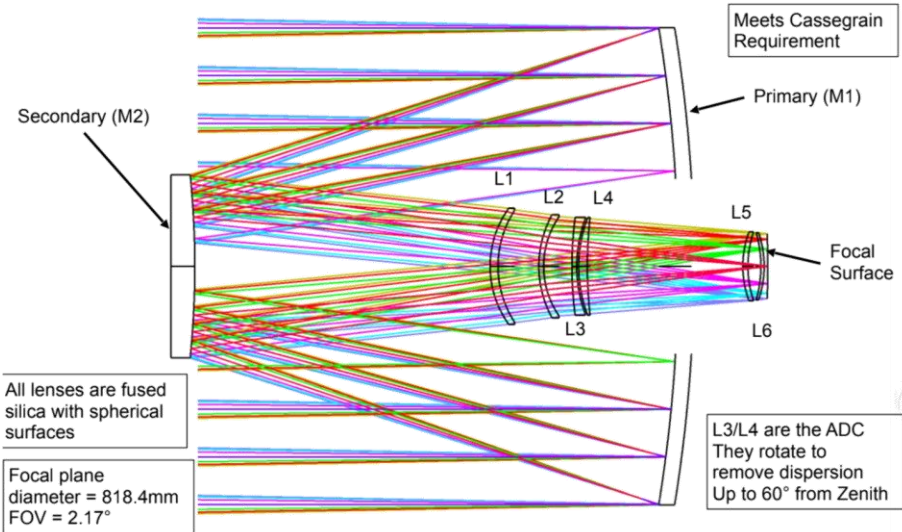
* Flexible **Multi-Modes** including IFUs

* **High-resolution MOS** would be essential to measure **abundances** and infer stellar activity in large samples of planet-hosting stars, thus unveiling the role of host-star chemical composition.

* **Low-resolution MOS** is ideal to investigate the properties of dispersed populations and faint objects

Telescope	NIR Coverage	Multi-mode Resolutions	M1 size	Multiplex
WST	C	A	A+	A
MegaMapper	C	C	B	A++
ELT/MOSAIC	A	A	A++	B
4MOST	C	B	C	B+
KLST	A++	A++	B	A++

분광탐사 망원경 레이아웃 사례



Spec-S5 (구 MegaMapper)

- 구경 : 6m
- 시야각 : 2.17°
- F/# : 3.6
- 광학계 : Cassegrain
- 파장대역 : 360 – 980 nm

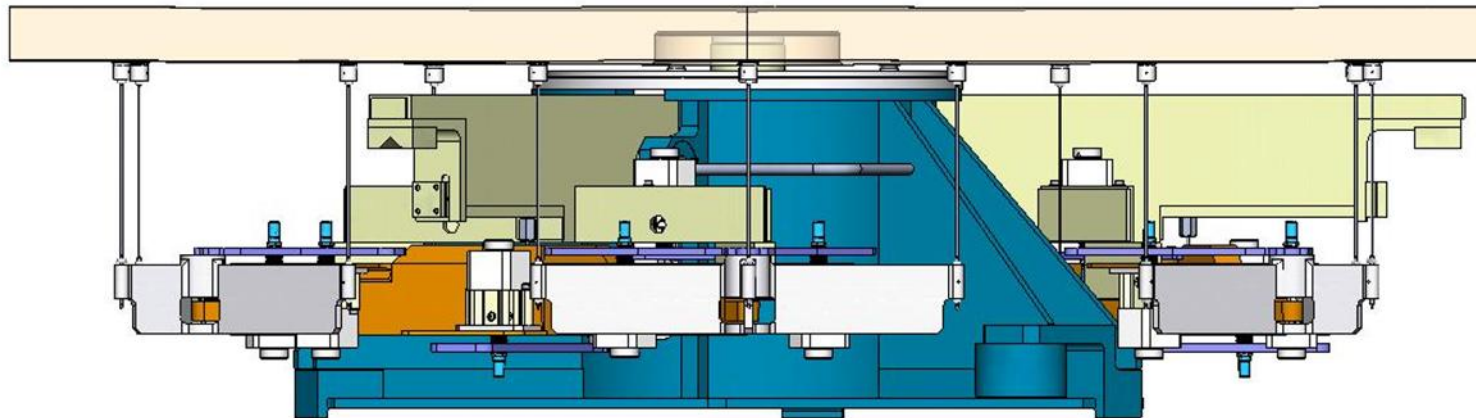
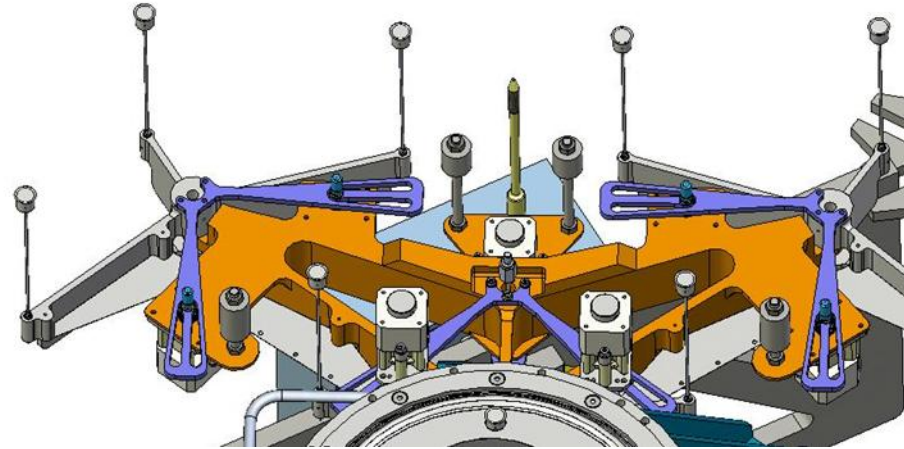
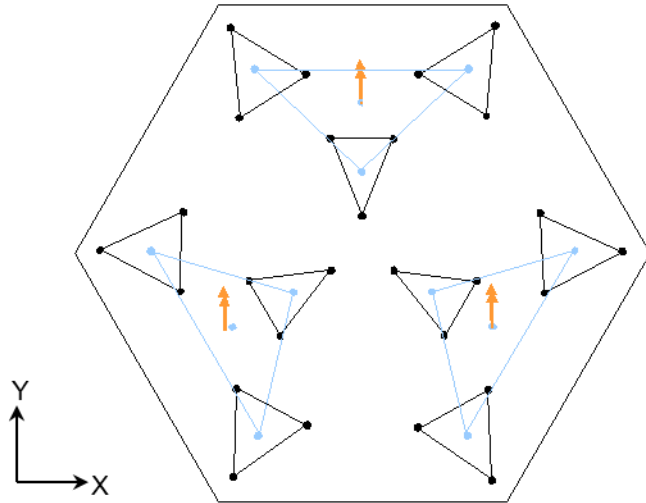
WST

- 구경 : 12m
- 시야각 : 2°
- F/# : 3 (MOS) / 35 (IFS)
- 광학계 : Cassegrain (MOS) / Coude (IFS)
- 파장대역 : 350 – 1600 nm

MSE (QM)

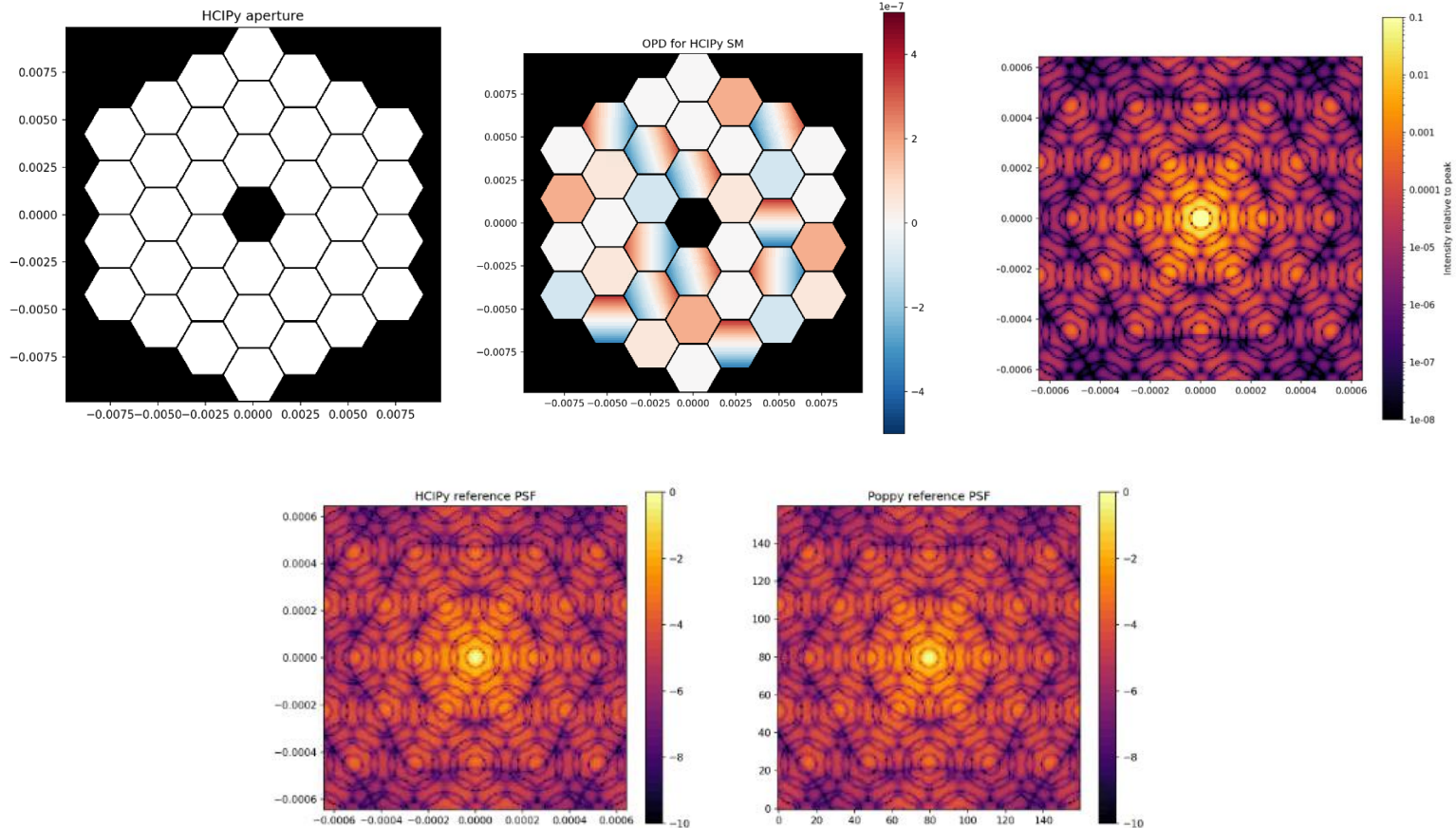
- 구경 : 12.5m
- 시야각 : 1.4°
- F/# : 4
- 광학계 : Korsch
- 파장대역 : 360 – 1800 nm

Layout of axial supports

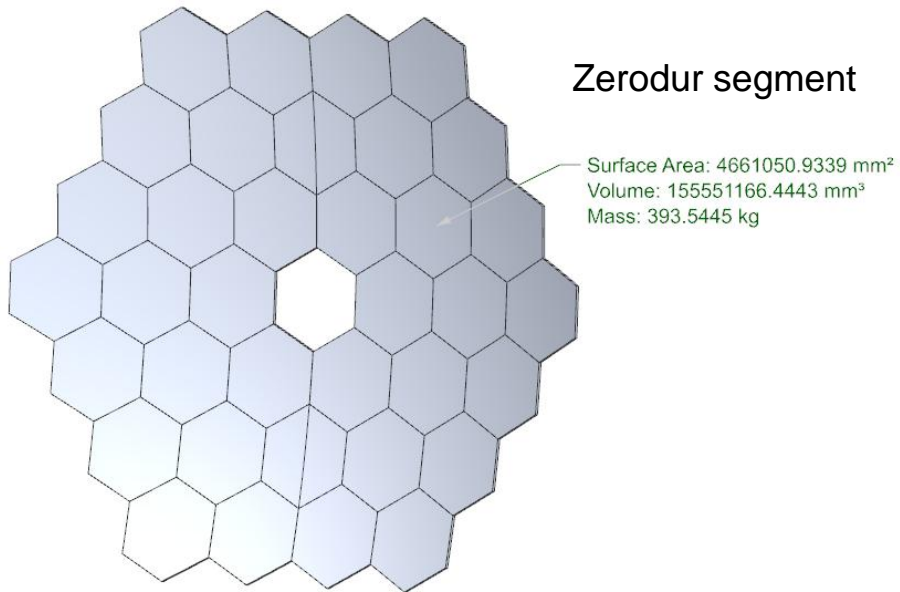


조각거울 분석 (HCIPy)

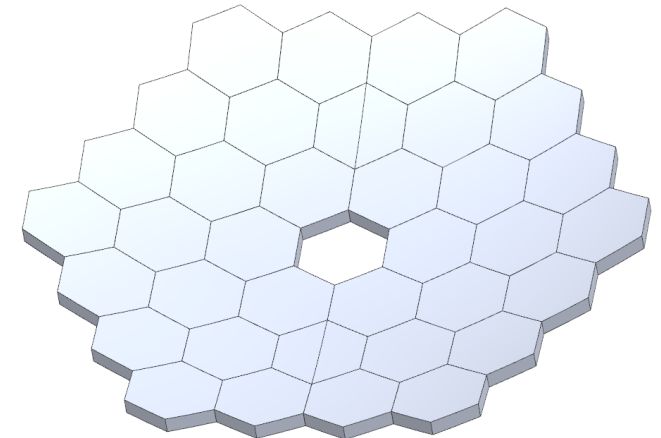
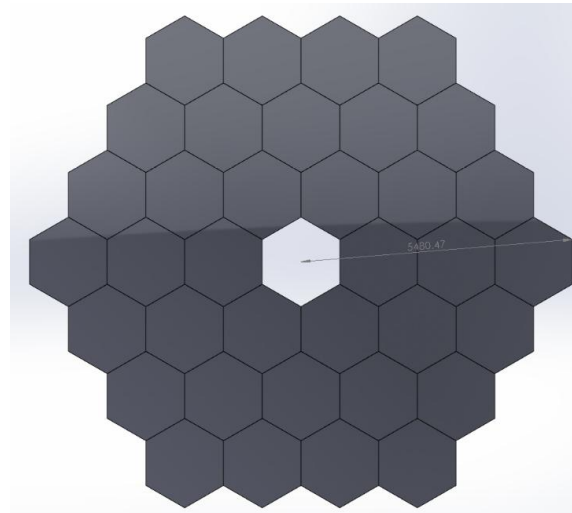
- Segment mirror analysis : HCIPy, hcipy.org



- Segment diameter 1.8 m ; thickness 75 mm (similar to Keck M1)
edge gap 2 mm (Keck 3 mm)

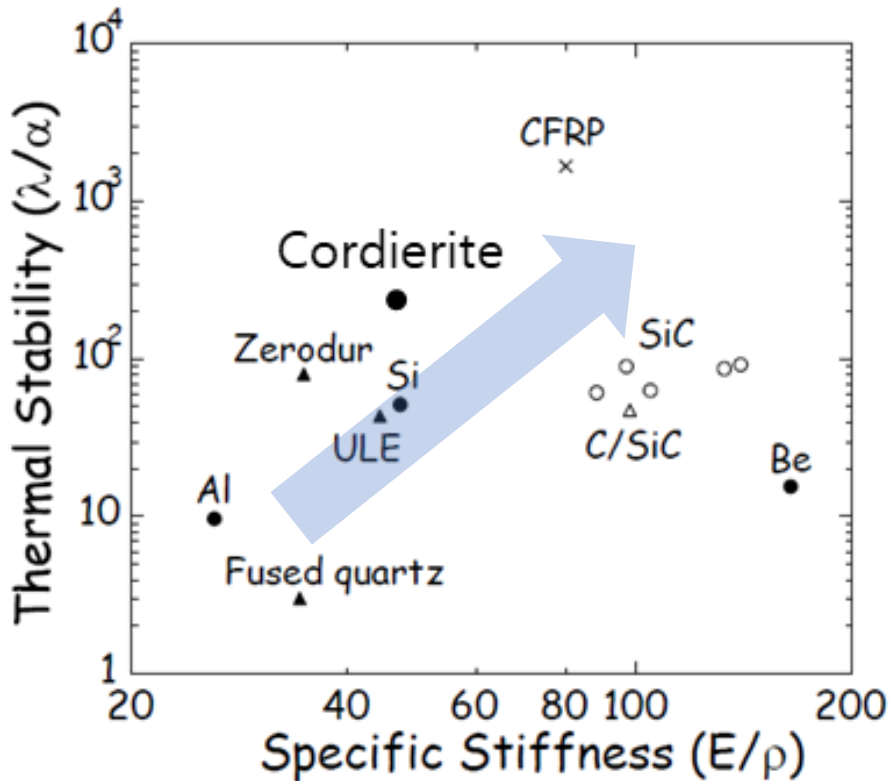


Drawing of 10 m Segmented Mirror
- Segment e2e: 1.8 m



반사경용 소재의 종류 및 물성

◆ 여러 소재 별 상온에서의 물성 비교



소재 종류	소재 분류	Young's Modulus (E) GPa	CTE (α) ppm/K	Thermal Conductivity (λ) W/m-K	Specific Stiffness (E/ρ)	Thermal Stability (λ/α)
Be	금속	303	11.4	180	164	16
Al	금속	71	24	237	26	10
Sintered SiC	세라믹	420	2.2	194	132	88
RB-SiC	세라믹	400	2.3	140-150	132	61
Cordierite	세라믹	140	0.02	4.68	55	234
Zerodur	글라스-세라믹	89	0.02	1.52	35	76
ULE	글라스	66	0.02	1.27	30	64
CFRP	탄소섬유 강화 플라스틱	120	0.03	50	80	1,667

구조체 소재

◆ 반사경 소재의 분류

- 비강성이 높고 열전도도가 높은 소재 (Be, SiC)
- 비강성은 낮지만 열팽창계수가 극도로 낮은 소재 (Zerodur, ULE, Cordierite)

반사경 소재의 국내 현황 (ZERODUR, SiC)

◆ Zerodur 소재 기술 현황

- 과제명 : 극자외선 반사경용 LAS계 극저열팽창 결정화 유리 개발 (산자부 과제)
- 기간 : 2024년 7월 ~ 2028년 12월 (4년 6개월)
- 주관기관 : (주)하스

	2024년	2025년	2026년	2027년	2028년
개발 목표	기초 실험	Φ100mm x 60T급	Φ300mm x 60T급	Φ500mm x 60T급	Φ500mm x 110T급

◆ SiC 반사경 소재 기술 현황

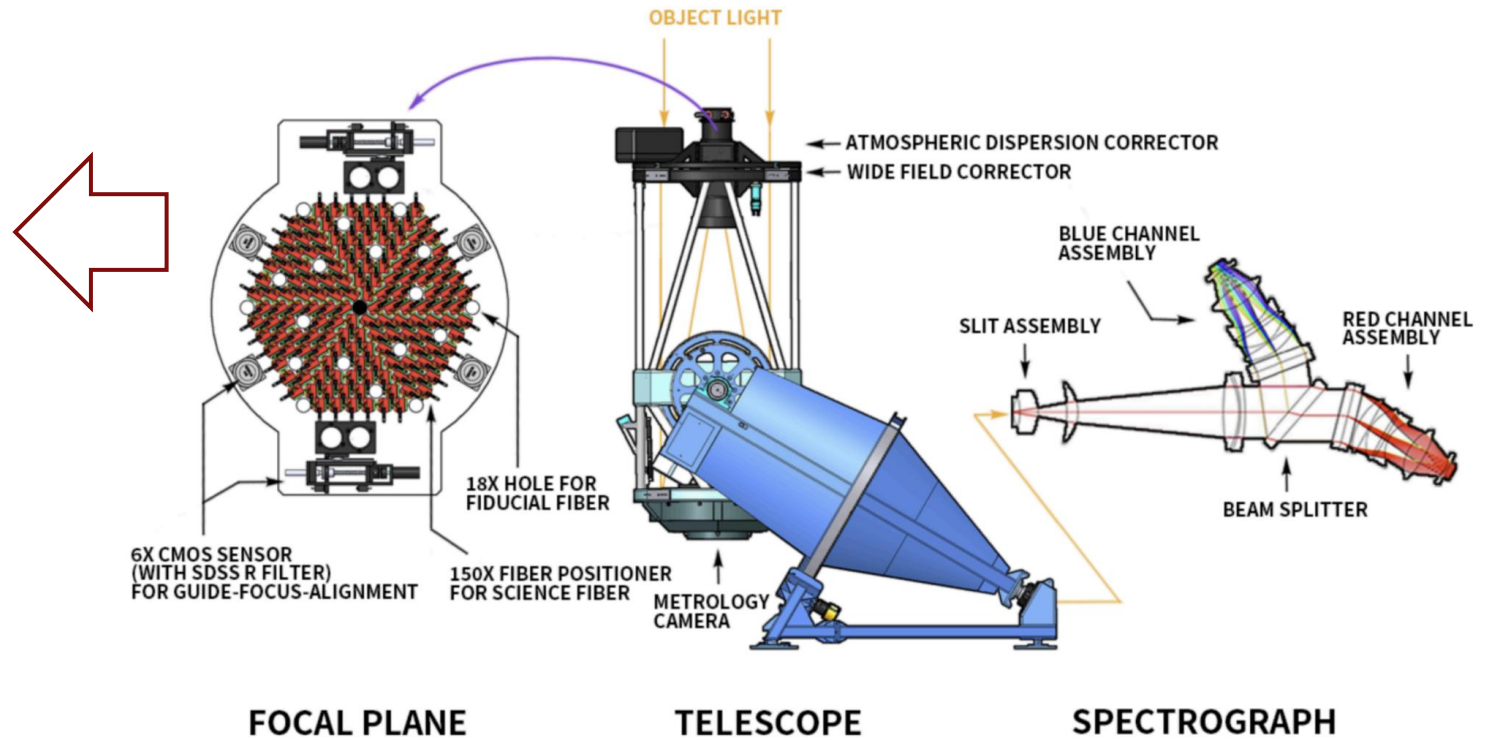
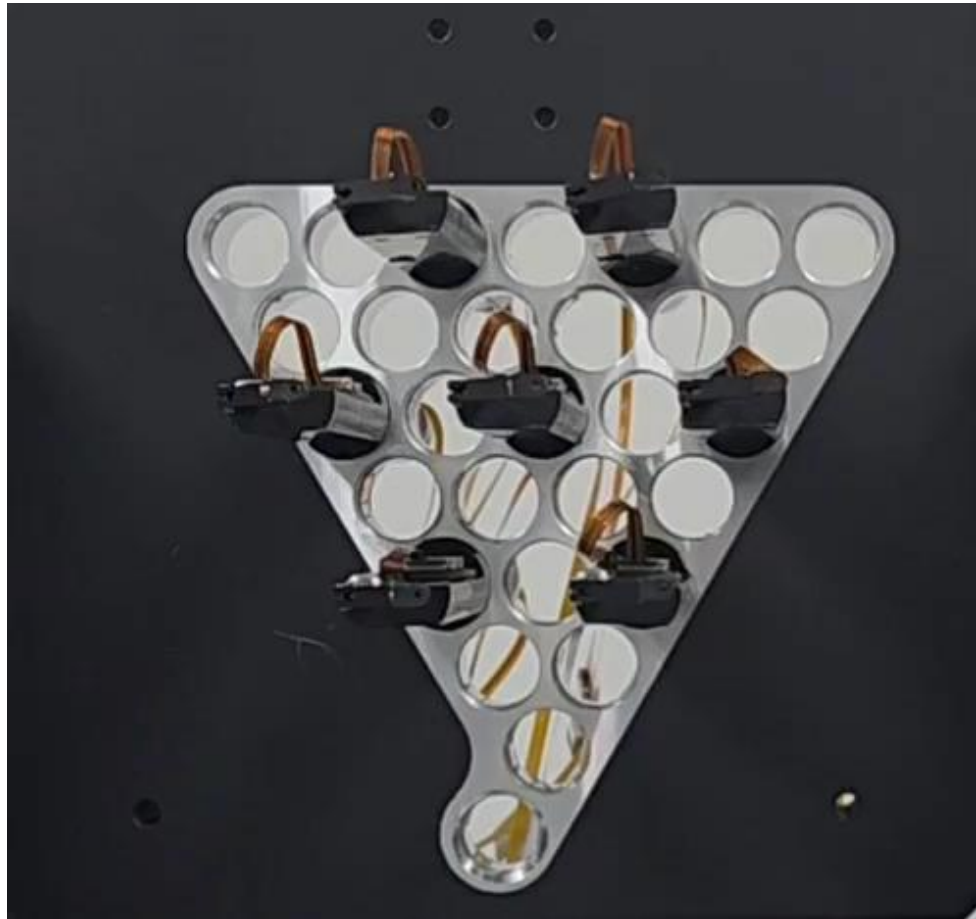
- 업체명 : (주)오렌지머티리얼즈
- 보유기술 : 반응소결 SiC 반사경 및 구조체 제조 기술, SiC 용접 기술



[Orange Materials]

- 직경 1,200mm까지 제작 가능
- 직경 300mm급 양산중 (방산용)

Southern Sky with KMTNet-SSO



© 최영만 (아주대)

© 김재우 (KASI)

KLST

과학연구

항성&외계행성



은하&은하단



거대구조&우주론



망원경&관측기기



망원경

광학설계



분광기



조각거울 제작&제어



다천체 위치로봇



운영

망원경 제작

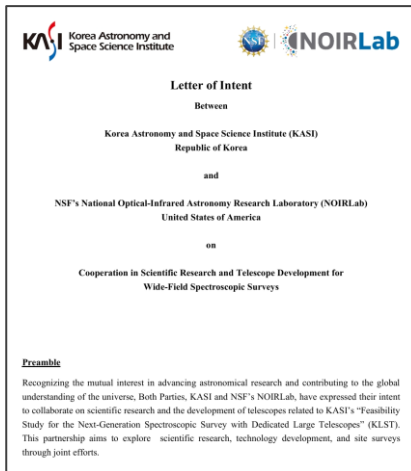


남반구 분광탐사: 글로벌 파트너십



미 광적외선천문학연구소

- 망원경 시스템 개발 협력
- 과학/기술 연구 공동 개발 협력
- 칠레 CTIO 내 망원경 건설 후보지 조사/평가 협력



애리조나대학교

- 망원경 광학계 개발 협력
- (주경 단일경 사용시) 주경 제작



텍사스대학교 오스틴

- 분광기 개발 협력
- 과학연구 공동 개발 협력



스위스 로잔연방공과대학교

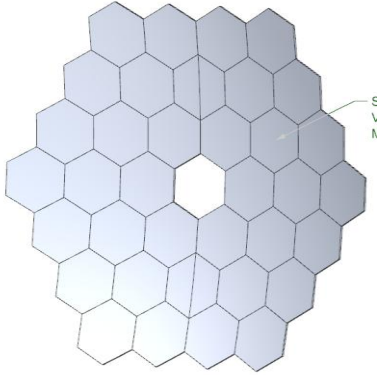
- 초정밀 로봇 개발 협력
- 과학/기술 연구 공동 개발 협력



펜실베이니아주립대학교

- 과학연구 공동 개발 협력

우주산업 생태계 파급효과



대형광학계

- 2m 이내 조각거울을 이용할 경우, '30년대에는 **국내 기업**이 반사경 소재 제작, 가공 및 제어용 광기계 제작 가능
- 조각거울 기술은 차세대 우주망원경 및 월면망원경 등 대규모 시설 뿐 아니라, **중소형 인공위성 및 지상 시설**에도 적용 가능. 다양한 국내 기업이 참여 가능한 수요 창출



정보통신/로봇제어

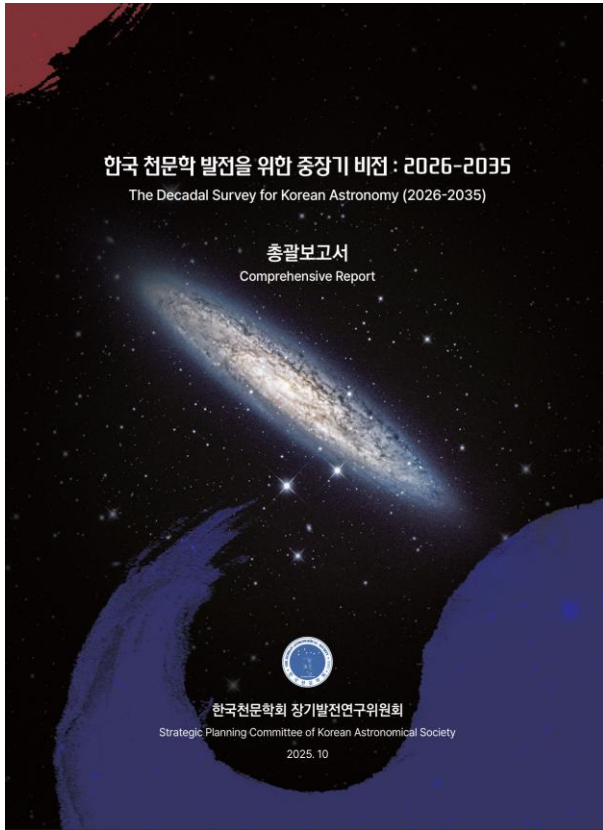
- 신호 손실을 최소화한 **광섬유 제어**를 통한 광통신 기술 제고
- 칠레 소재 천문대의 **원격 제어** 인프라 구축을 통한 정보통신 기술 제고
- **마이크로 로봇** 제작 및 동시 정밀제어를 통한 정밀로봇 기술 제고
- 광섬유 제어 마이크로 로봇 기술은 드론전 등 **우주국방 기술**과 연관이 있음



인공지능/빅데이터

- 광학계/로봇제어 등 **실시간** 미세조정 및 위험 감지에 적용하기 위한 인공지능 기술 개발
- 스펙트럼 거대 자료의 품질 검사/분류/후처리에 **인간 간섭을 최소화**하기 위한 인공지능 기술 개발
- 연구자의 자료 활용을 극대화하기 위한 빅데이터 기술 개발

한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전: 2026-2035



7-2. P1(중요도 최상, Top Priority)

선정 기준 : 세계적으로 가장 앞서는 기술 개발을 하면서 세계를 선도할 수 있는 혁신적인 과학 임무를 수행할 연구시설. 학계의 전폭적인 지원 및 매우 높은 파급력과 활용도가 예상되어야 함.

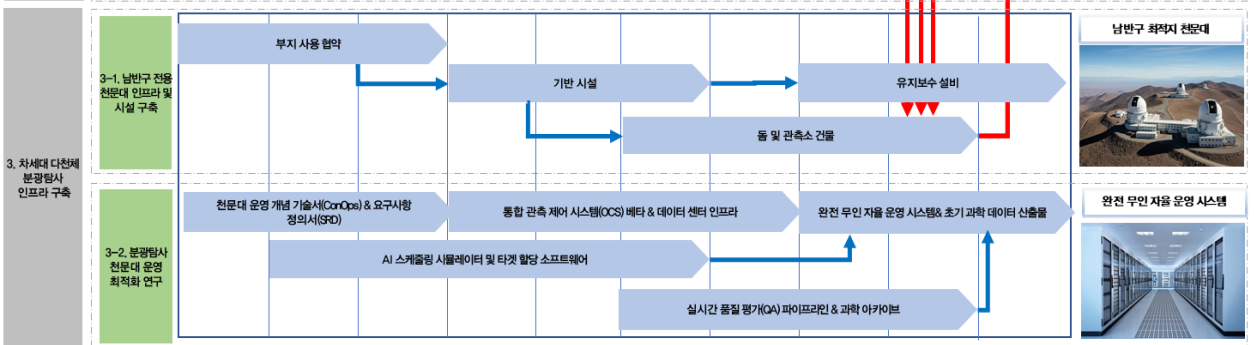
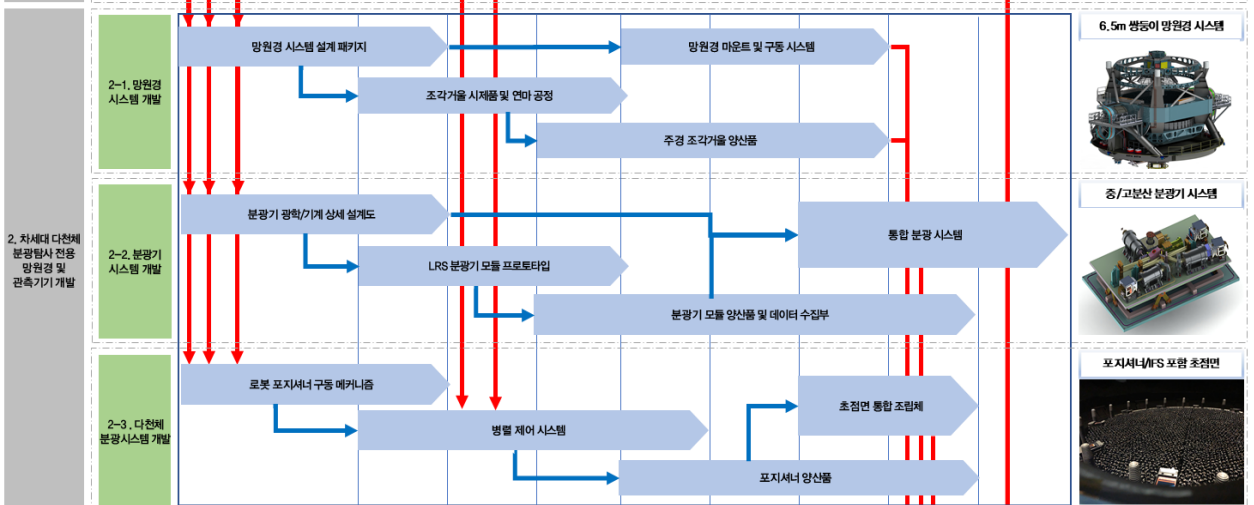
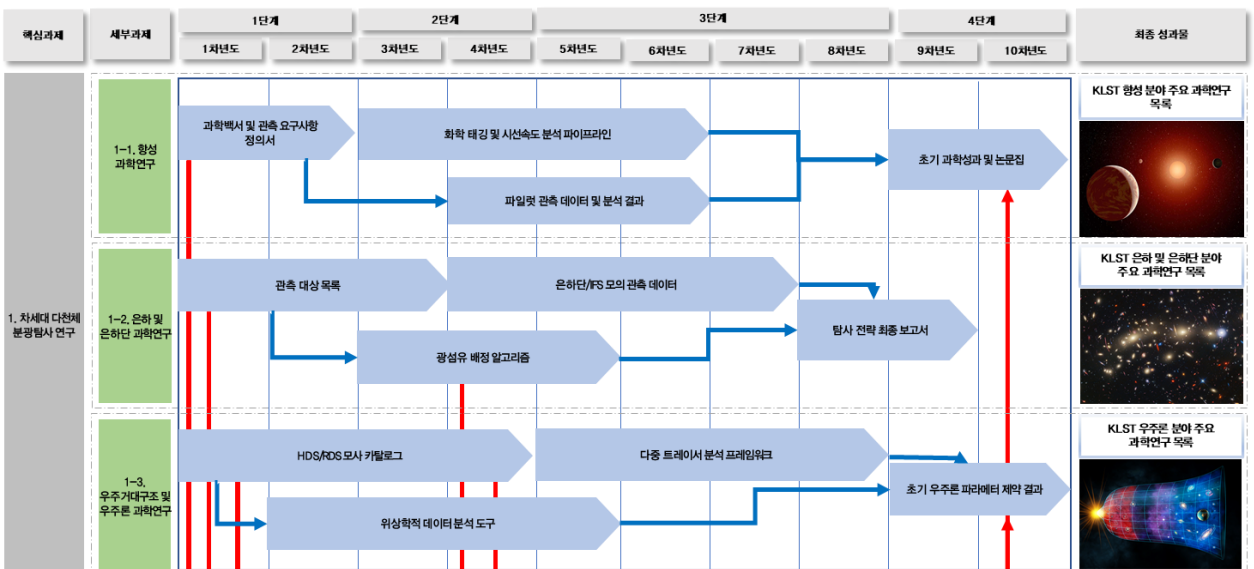
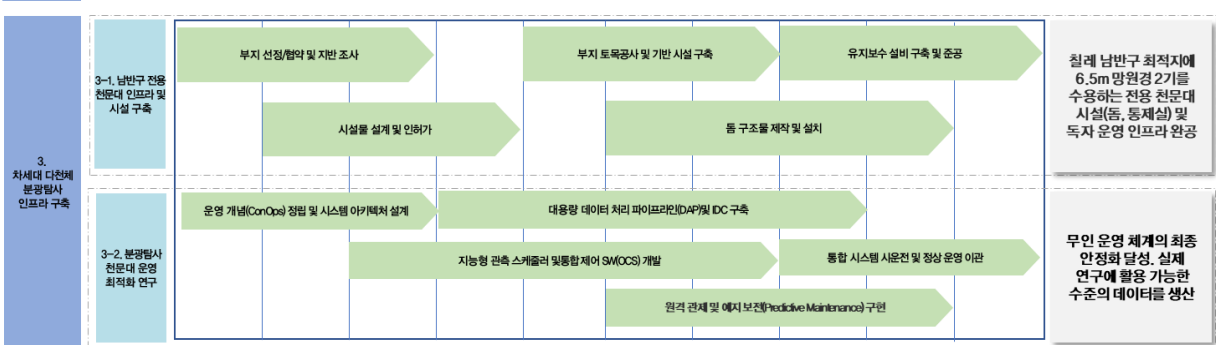
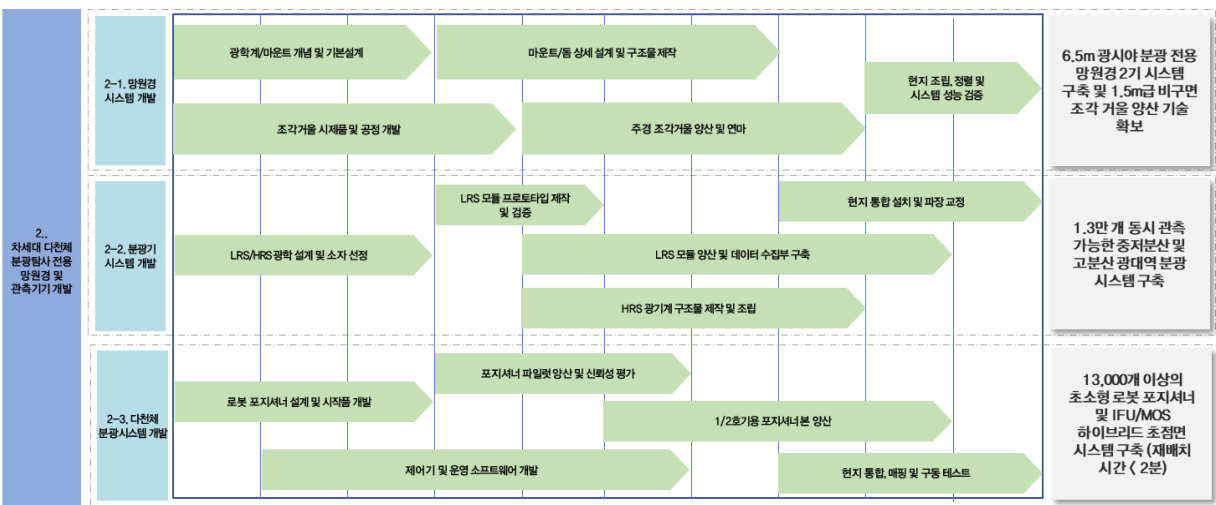
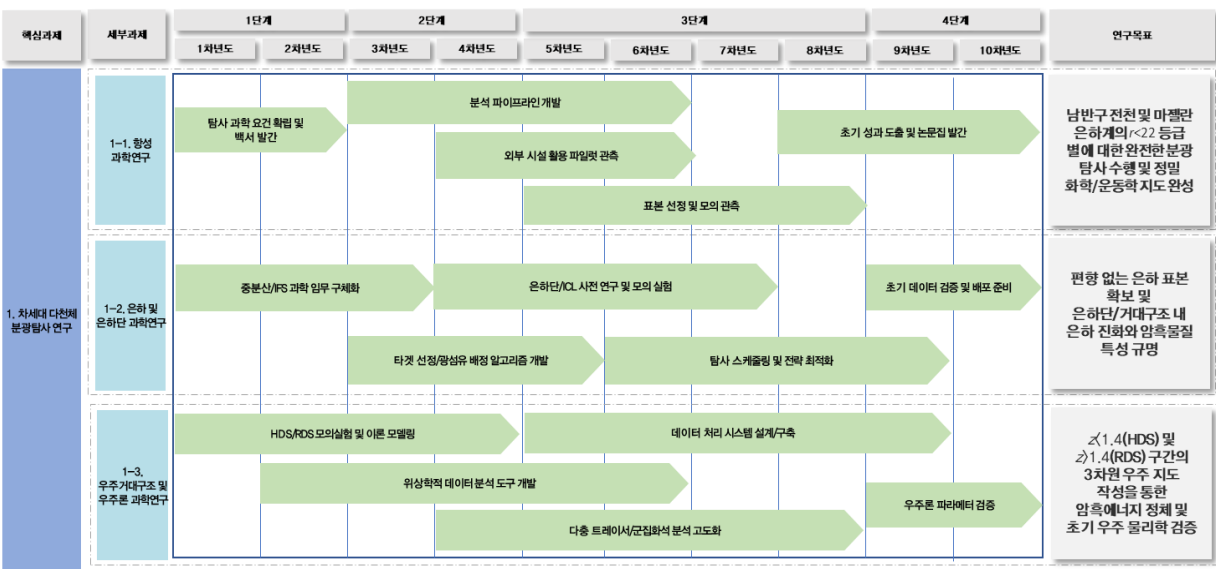
A. 미래 시설

1. 분광탐사 6.5m 광학망원경 : 6.5m급 망원경 2개 또는 동급 집광력을 갖춘 분광탐사 전용 망원경으로 남반구 하늘의 분광탐사 연구를 목적으로 한다. 외부은하와 우주론 연구를 비롯한 천문학 전 분야에서 활용이 가능할 것이며, 2035년 전후에 목표한 대로 가동을 개시하면 남반구 하늘의 분광탐사 연구를 선도할 수 있을 것으로 보인다. 한국 내 다수의 은하, 은하단 연구 인력을 바탕으로 분광탐사 망원경 건설, 분광기 제작, 데이터 확보, 연구 수행 등 연구 전 단계를 수행하고자 하는 야심 찬 프로젝트이다. 기술적 노하우 확보, 연구 인력 양성, 연구 경쟁력 확보 등 다양한 파급효과가 기대된다.

항목	소항목	점수	소계
1. 과학적 중요도	1-1. 인류 과학기술 증진과 도약에 얼마나 기여?	5	10
	1-2. 국제적 연구 경쟁력	5	
2. 파급효과	2-1. 천문학계 또는 과학계에서의 관심 및 활용도	3	10
	2-2. 전문가 그룹 성숙도(연구성과 창출 능력 등)	2	
	2-3. 인력 양성 기여도	2	
	2-4. 기술 개발 기여도	3	
3. 기술적 준비도	3-1. 얼마나 기술 확보된 상태?	3	10
	3-2. 핵심 기술 확보 가능성	4	
	3-3. 2030년대 활용 가능성	3	

그리고 중요도 분류 기준은 다음과 같이 정하였다.

중요도 분류	내용
P1(중요도 최상) Top Priority	세계적으로 가장 앞서는 기술 개발을 하면서 세계를 선도할 수 있는 혁신적인 과학임무를 수행할 연구시설 및 활동. 학계의 전폭적인 지원 및 매우 높은 파급력과 활용도가 예상되어야 함
P2(중요도 상) Very High Priority	과학적 및 기술적 중요도에서 P1 만큼 중요하나, 파급력이나 활용도 측면에서 P1 대비 조금 더 제한적이거나 장기적인 관점에서 추진해야 할 시설 및 활동
P3(중요도 중) High Priority	기술적 과학적인 측면에서 중요하며, 장기적인 관점에서 P1급이 될 잠재력이 있는 시설 및 활동. 또는 과학적인 중요도는 매우 높으나 기술적 개발 측면의 파급력이 P1, P2 대비 상대적으로 약한 시설
O(그 외 중요한 시설 및 활동) Other Important Facilities and Activities	P1, P2, P3에 속하지 않은 연구 개발 및 지원 활동이나, 주목적이 천문학이 아닌 시설이면서 P1, P2, P3 만큼 중요도가 인정 것들. 각 항목에 P1, P2, P3 기준을 부여



Astro2020 APC White Paper

Observatory Operating Costs and Their Relation to Capital Costs

운영비: 250억

Table 1. Capital and operational costs of major existing observatories

Observatory	Capital			Operations			
	Year	\$2019M	Source	\$2019M	%	Source	
Mayall	1973	52	1	3.8	7.4	10	4m
Blanco	1976	70	1	4.7	6.7	10	4m
IRTF	1980	114	1	5	4.4	11	3.2m
Keck I & II	1994	405	1	17	4.2	12	10m
Magellan I & II	2000	150	2	7	4.6	13	6.5m
Gemini N & S	2000	308	3	21	6.8	14	8.1m
Subaru	2001	350	4	22.5	6.4	15	8.2m
LBT	2008	235	5	6	2.6	16	8.4m
LSST	2021	660	6	30	4.5	14	8.4m
VLA	1976	395	7	79	2.5	14	28x25m
ALMA	2004	803	8	43.5	5.4	14	54x12m + 12x12m
LIGO	2000	2115	9	40	1.9	14	2x2x4km

1. 6.5m 급 망원경 가격(2대): 2024년 기준 약 5000억
2. 연간 운영비: 약 250억
3. 천문대 운영 WBS 레벨 4까지 전개: 약 600개 항목
4. 대형천문대 운영인력: 100-150 FTE

¹ Van Belle et al. (2004); ² Magellan budget documents; ³ Gemini budget authorization; ⁴ LBT ⁵ NSF MREFC budget and DoE Budget for LSST; ⁶ NRAO web site; ⁷ NSF MREFC budget and partner budgets; ⁸ NSF and LIGO web sites; ⁹ NOAO 2019 Program Plan; ¹⁰ NASA 2019 Budget; ¹¹ Private Communication; ¹² NSF FY2019 Budget; ¹³ NAOJ Website; ¹⁴ Private Communication.



AI-generated image