

Progress updates on SKA-KOREA activities

오세현 (세종대학교)

On behalf of the SKA-Korea Working Group

SKA-LOW in WA



SKA-MID in SA



우주탐사 연구회 (2023 Jan 16-18, 하이원 리조트)

□ Contents

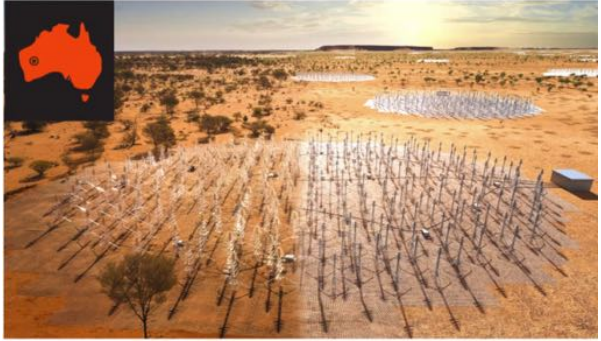
○ Square Kilometre Array (SKA)

- 국제공조 거대 전파망원경 프로젝트 SKA
- SKA 건설

○ SKA-Korea working group activities

- SKA-Korea Working Group
- 연구재단 해외대형장비 활용지원 사업:
“SKA 프리커서/패스파인더 전파망원경을 이용한 천문우주 연구”
- 2023 계획: 과기부 거대공공 연구정책과 (2023. 3월 제안서 제출 준비)

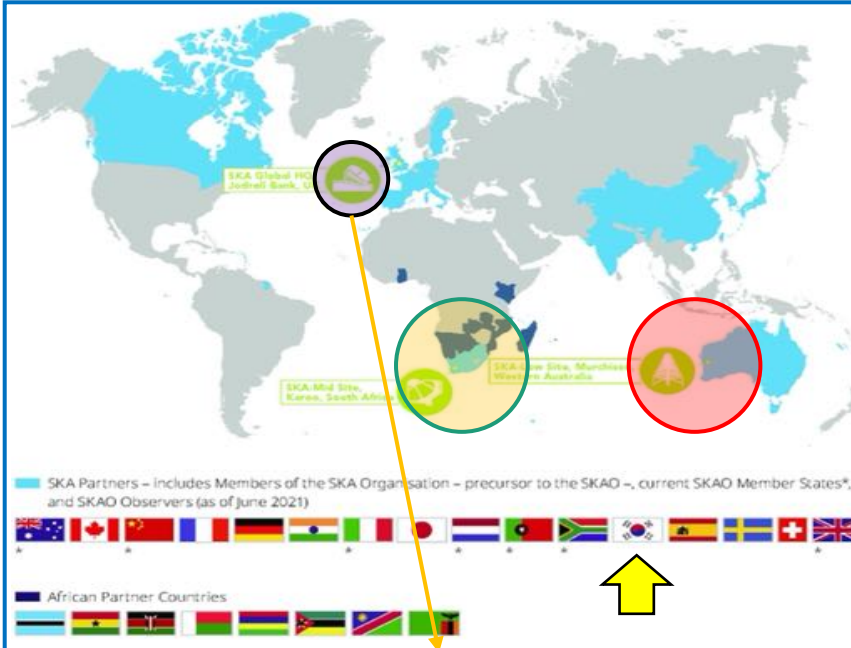
□ 국제공조 거대 전파망원경 프로젝트 | SKA : Square Kilometre Array



- SKA1 **저**-주파수(50 ~ 350 MHz) 전파망원경 배열 (13만개)
- **서호주** 머치슨 사막지역 설치



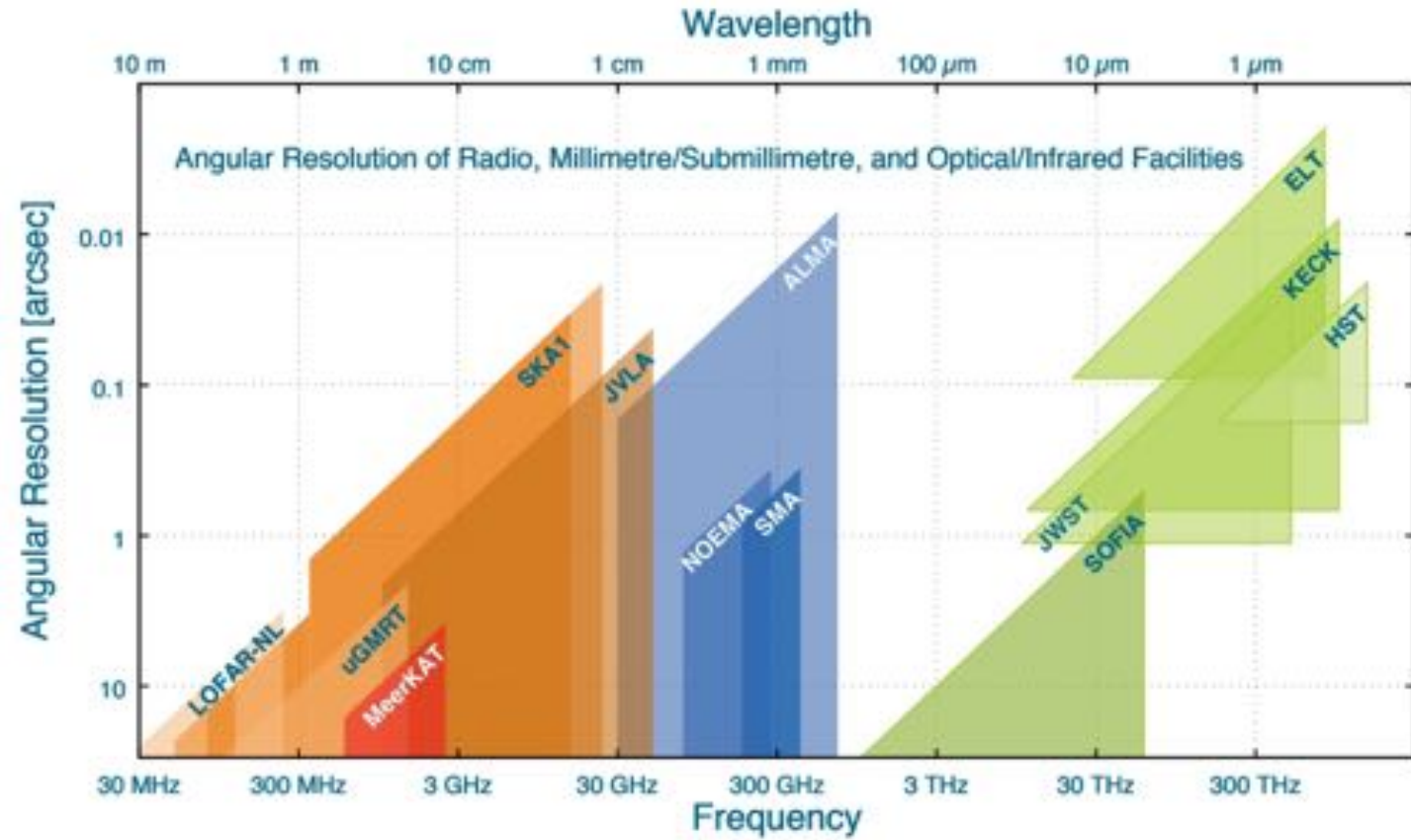
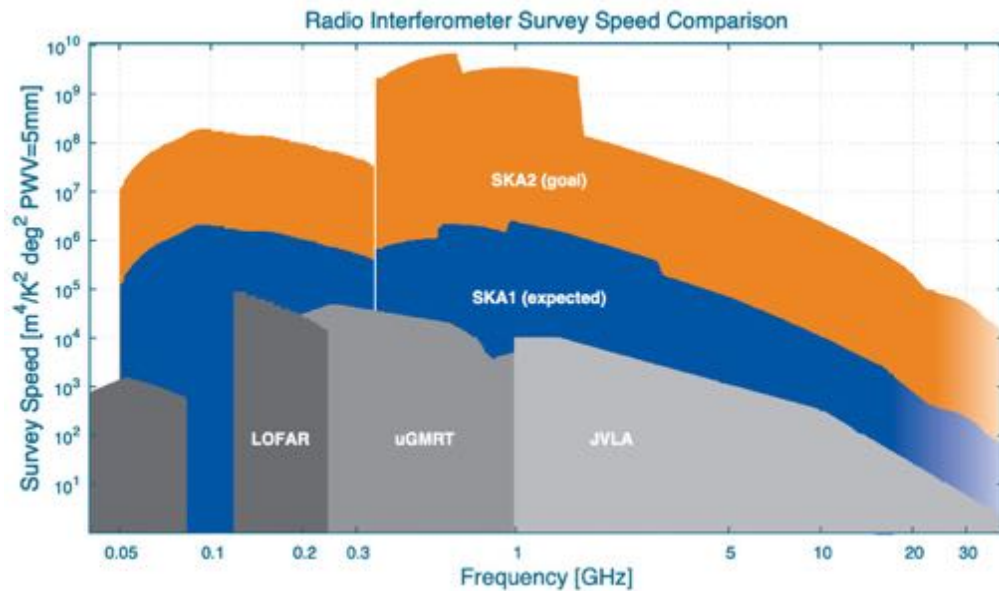
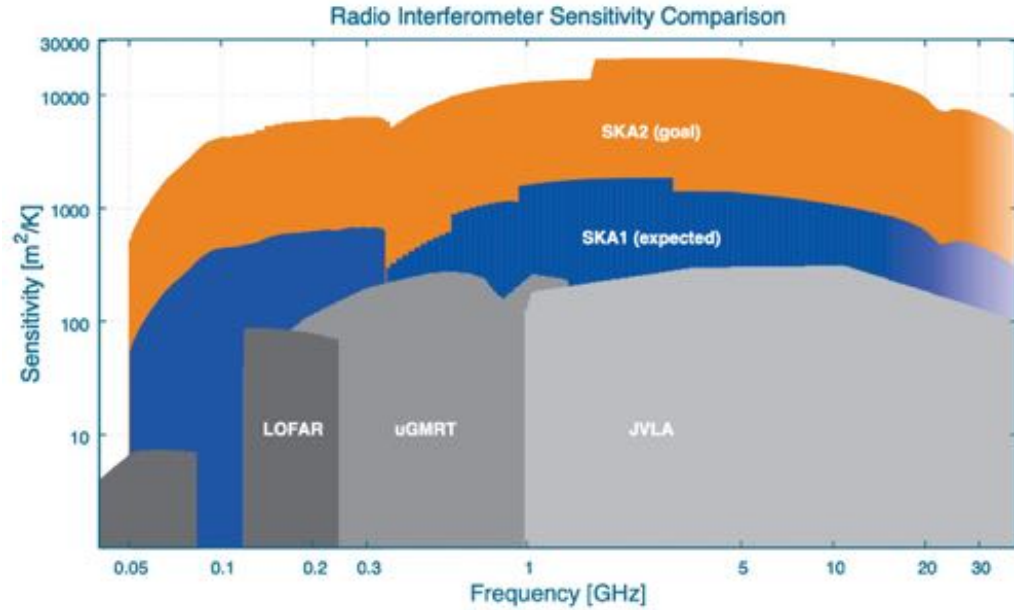
- SKA **중**-주파수(0.35 ~ 15 GHz) 전파망원경 배열 (200개)
- **남아공** 카루 사막지역 설치



- SKAO 본부
- 영국 맨체스터 조드럴뱅크 전파천문대
- SKA 건설/운영 및 연구 총괄

- 우주에서 방출되는 **저/중**-주파수 전파영역의 전자기파 관측을 통한 천문우주 연구
- 현존하는 최고 성능의 전파망원경들을 압도하는 탁월한 관측 성능
- 총 사업비용: ~1.8조원
- SKA 구축 일정: 2021년 ~ 2027년
- 2027년부터 관측 시작 / 금세기 동안 운영
- 2023년 1월 현재 11개국이 정식으로 참여
- **SKA-Korea 워킹 그룹 (2009년 ~ 현재)**
- 30여명의 국내 연구자들로 구성
- 지난 10여년 동안 한국의 SKA 참여방안 논의와 SKA 과학연구활동 지속

□ 관측 감도, 분해능 및 속도: SKA vs. 다른 전파망원경들



□ SKA 건설 현황 ('22년 12. 5 착공식)



- SKAO 거버넌스



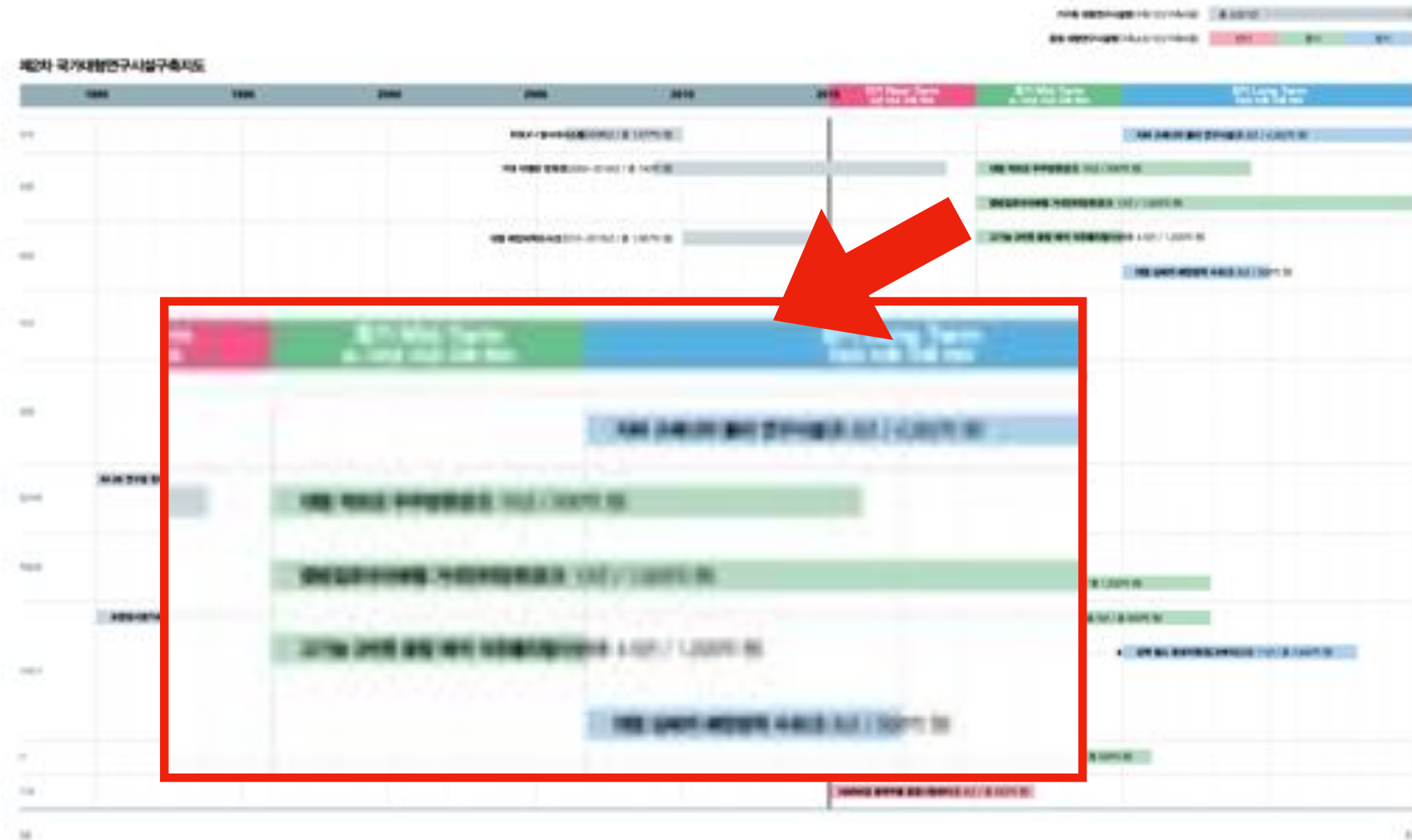
- 이사회 : 회원국 당 2명(1명 정부, 1명 연구기관)의 대표로 구성
- 이사회 의장(Council Chair) : Dr. Catherine Cesarsky(프랑스)
- 사무총장(Director General) : Prof. Philip Diamond(영국)
- 건설예산 : 20억 유로(2021년 기준)

- SKA-Low 망원경 대장 - Dr. Sarah Pearce(호주)
- SKA-Mid 망원경 대장 - Dr. Lindsay Magnus(남아공)
- SKA 지역센터 운영 위원회 의장 - 선출 절차 진행 중

2010년 국가대형연구시설 구축지도 中



2014년 국가대형연구시설 구축지도 中



□ 4차/5차 우주개발진흥 기본계획 공청회 중 (2022. 11. 30)

3. 우주 개척의 항로 : 우주기반기술 및 우주과학 연구 확대



▶ 우주과학 연구의 확대

구분	4차 계획(~'27년)	5차 계획('28~)
태양계 우주 탐사 관측	• 기획연구 시작(22) • 사업 착수(25)	• 탐사선 발사(35)
우주환경	• 기획연구 시작(23) • 사업 착수(25)	• 탐사선 발사(30)
우주양자통신	• 기획연구 및 핵심 기술 개발	• 사업착수 (30) • 우주양자통신 발사(~40)
지상 과학 망원경	• 적응광학, 초정밀광학 기술 등 핵심기술 기획 연구	• 핵심기술 지속 개발
지상 전파 망원경	• SKA 사업 착수 • 국가 보유 전파 망원경 고도화를 위한 기획연구	• SKA 본격 관측 • 전파 망원경 핵심 기술 지속 개발

▶ 우주 뿌리 과학 공학 연구 프로그램 신설

✓ 우주실험·생산

- ▶ 상업 우주 정거장, 지구 저궤도 우주여행 플랫폼 등을 활용하는 시험 및 검증 수행
- ▶ 우주에서 다양한 실험, 연구 등을 통해 과학기술의 발전을 견인하는 (가칭) 우주과학연구 지원사업 · 을 기획·추진

✓ 미래 우주탐사 임무

- ▶ 새로운 탐사 방식의 우주과학 임무 발굴을 위해 (가칭) 미래 우주탐사 선형 기술 연구사업(24~)을 기획·추진
- ▶ 미래 우주탐사의 방식을 혁신 할 신기술을 활용한 우주 탐사 임무 및 신개념의 우주탐사 임무 발굴을 위한 기초 연구 추진

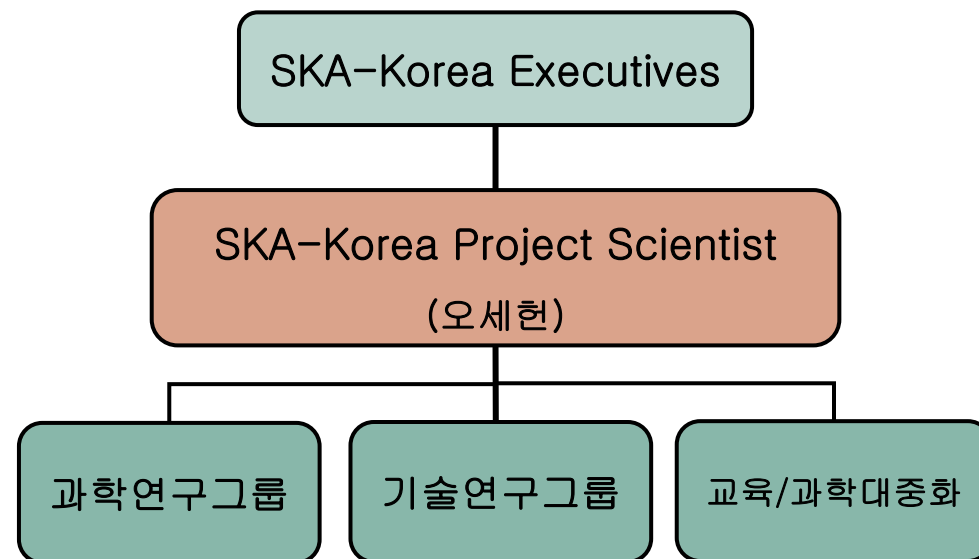
□ SKA-Korea 워킹 그룹

○ 국내 활동

- 국내 30여명의 SKA 과학/기술 연구자들로 구성
- 2009년에 결성하여, 국내외 SKA 과학/기술 연구활동과 SKA 국제 공동연구과제에 참여
- 한국의 SKA 참여 방안을 위한 전략 연구와 사전 과학연구 수행
- 천문연 기획 연구 (2019): 손봉원/오세현 외

○ 국제 활동 (SKA 프리커서/패스파인더 과학연구 수행)

- 류동수 (UNIST): ASKAP/MeerKAT 관측 프로젝트 참여 중
- 안경진 (조선대): MWA, HERA 관측 프로젝트 참여 중
- 오세현 (세종대): ASKAP, MeerKAT, FAST 관측 프로젝트 참여 중
- 이민영 (천문연): ASKAP-GASKAP 관측 프로젝트 참여 중
- David Parkinson (천문연): ASKAP-EMU 관측 프로젝트 참여 중
- 국제 SKA 과학백서 작성에 다수의 한국 연구자들 참여



SKA Korea 진행 현황

2019.6.27. SKA 참여의향서

SKA Korea WG의 결성은 2005년 논의 후 지속

2010년 9월
pre-MOU에 'participants'로 참여

2010년, 2014년
정부 주도 국가과학기술위원회의 '국가대형연구시설구축지도' 선정 (N-42, 중기-9)

2015년
'SKA Science Book' 발간 시 한국 측 참여

2018년
SKA 전략 기획연구 수행, KASI

2019년 6월 27일
SKA 참여의향서 발송

2020년 4월
SKAO (SKA Organisation) 측과 영상 통화로 진행 현황 및 In-Kind Contribution 의사 전달

2020년 7월
주한영국 대사관, 과기부 거대공공연구정책과로부터 SKA 진행 현황 문의 및 공유 요청



Korea Astronomy and Space Science Institute

Hyung Mok Lee
President of Korea Astronomy and Space Science Institute
776, Daedukdae-ro, Yuseong-gu,
Daejeon, 34055, Republic of Korea

June 27, 2019

Ms. Patricia Kelly
CPTF Chair
Jodrell Bank, Lower Withington, Macclesfield
Cheshire, SK11 9FT, UK

Dear Ms. Patricia Kelly,

I, Hyung Mok Lee, am writing to give my support and endorsement to Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) for the participation in SKA as an observer. In order to facilitate KASI's participation, Dr. Bong Won Sohn will be a delegate representing KASI position in SKAO from now on.

KASI has excellent experience in establishing observational facilities with Korean VLBI Network (KVN) and participating in international joint project such as ALMA. Along with the R&D competency in the field of radio astronomy, KASI has run a study to gauge the potential for SKA and is watching the progress of SKA project with great interest.

It is without reservation that I endorse KASI to attend the Council Preparatory Task Force meetings as an observer and to prepare further international cooperation.

I look forward to hearing a good news on KASI participation in SKAO activities for the foreseeable future.

Sincerely Yours,

Hyung Mok Lee
President of Korea Astronomy and Space Science Institute

□ SKAO 사무총장 한국방문 및 회의 (2022. Aug 10, 부산)

○ 참석자

- Phil Diamond SKAO 사무총장 일행
- 한국천문연구원 박영득 원장, 육인수 부원장 및 전파본부장
- SKA-Korea 워킹그룹 (손봉원, 강현우)

→ 한국의 SKA 참여를 위한 논의 + MOU 세부사항 논의



□ 한국의 SKA 참여를 위한 실무회의 (2022. Aug 8, 부산)

○ 참석자

- Phil Diamond SKAO 사무총장 일행
- SKA-Korea 워킹 그룹 (류동수, 손봉원, 강현우, 이민영, 김재영)

→ 한국의 SKA 참여 진행 상황 설명과 SKAO의 지원 방안 논의



□ 한국연구재단 해외대형 연구장비 활용지원사업

- ' 거대 전파망원경을 이용한 천문우주 연구' (2022.10 ~ 2024.12)

- 주관 연구기관 (세종대, 연구책임자 - 오세헌)

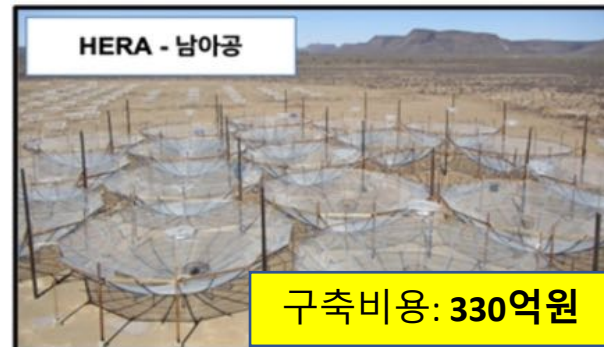
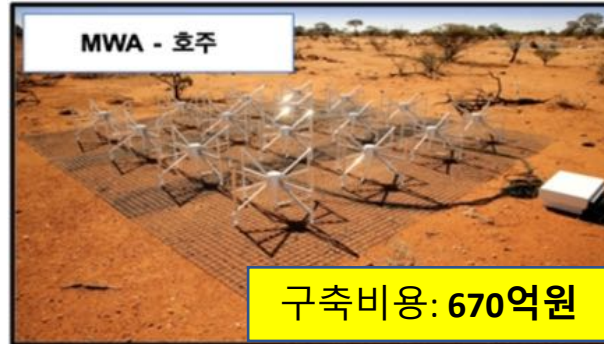
- 공동 연구기관

- 천문연 (손봉원), UNIST (류동수), 조선대 (안경진),

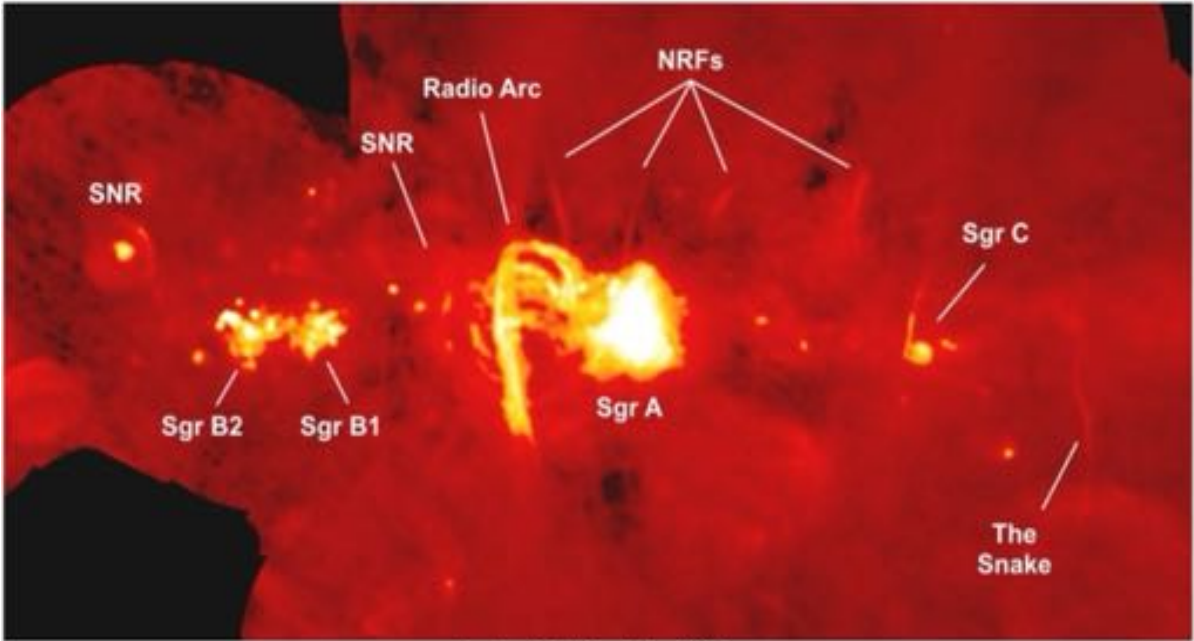
- 충남대 (조정연), 연세대 (정애리), 경북대 (김재영)

- 참여연구원: ... + 김종수 (천문연), Benedict Bahr-Kalus (천문연)

□ SKA 프리커서 / 패스파인더 전파망원경: SKA 과학/기술 연구개발을 위한 차세대 전파망원경



- 중-주파수 전파 대역 관측 :
ASKAP (호주), MeerKAT (남아공), FAST (중국)
- 저-주파수 전파 대역 관측 :
MWA (호주), HERA (남아공)
- 현존하는 최고 성능의 전파망원경들과 비교하여
수배~수십배의 우수한 관측 성능 (분해능, 속도, 감도)
- 전파관측 빅데이터 처리/전송/저장 기술 개발 기회
(예: ASKAP - 75 PB/년, SKA1 - 600 PB/년)
- 2023년 상반기부터 본격적인 관측 시작
- 국내 연구자들이 여러 관측 프로젝트들에 참여 중



VS



현존하는 최고 성능의 전파망원경 (VLA-미국)을
이용한 중-주파수 대역 전파 관측

SKA 프리커서 전파망원경 (MeerKAT - 남아공)을
이용한 중-주파수 대역 전파 관측



VLA - 미국

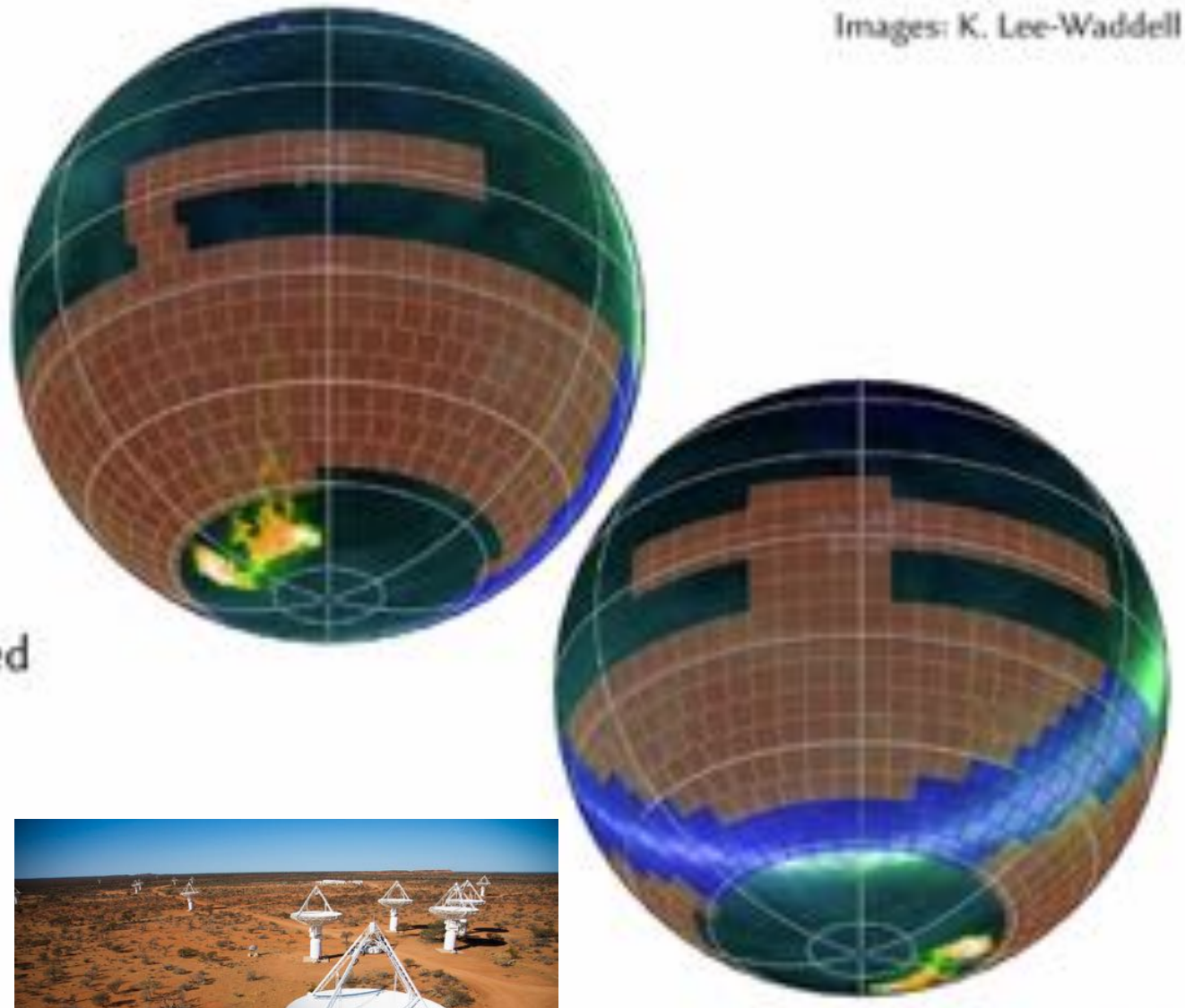


MeerKAT - 남아공

★ Survey strategy for first 5 years

- ▶ 552 tiles, 16 h each
 - 8832 h total
- ▶ Contiguous declination range
 - $-60^\circ \leq \delta \leq -15^\circ$
 - 469 tiles
- ▶ Extra field of interest
 - HSC SSP[†] + GAMA G02 (68 tiles)
 - Virgo cluster (15 tiles)
- ▶ Other fields of interest (partially) included
 - Vela 100%
 - Cen A 100%
 - Pavo-Indus 43%
 - Great Attractor 54%

[†] Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program



ASKAP-호주

□ SKA 프리커서 / 패스파인더 전파망원경을 이용한 천문우주 연구

- SKA 구축을 위한 과학/기술적 관문 역할
 - 현존하는 최고 성능의 전파망원경들과 비교하여 우수한 관측성능 보유
 - 국내에는 전무한 저/중-주파수 대역 최첨단 거대 전파망원경 관측/자료 사용 기회
- SKA 과학/기술 선도 연구의 초석 마련

- 본 과제는 SKA 프리커서/패스파인더 차세대 전파망원경을 이용한 국제 공동연구 수행
- 2020년도 중/후반 도래할 SKA 과학 시대를 대비한 한국형 SKA-과학연구주제 개발
- 학생/박사후 연구원들의 해외 관련 연구기관 파견과 국내외 전문가들의 상호 연구방문
- 국내 전파천문학 연구의 저변 확대와 우수 신진 연구인력을 획기적으로 양성
- 한국의 SKA 참여 추진: 선도 연구주제 선점과 한국측 이해를 적극적으로 반영시키기 위한 한국형-SKA 과학연구개발과 핵심 연구 집단 형성

2009 ~ 2022년

SKA 프리커서/패스파인더
전파망원경 구축 및 시험 관측



2023 ~ 2025년

본 연구과제를 통해
한국형 SKA-과학연구주제 개발
신진인력 양성 및 연구집단 형성



2025년 ~

한국의 SKA 참여와
SKA 과학 선도 연구 수행

□ 연구단 구성 및 추진전략

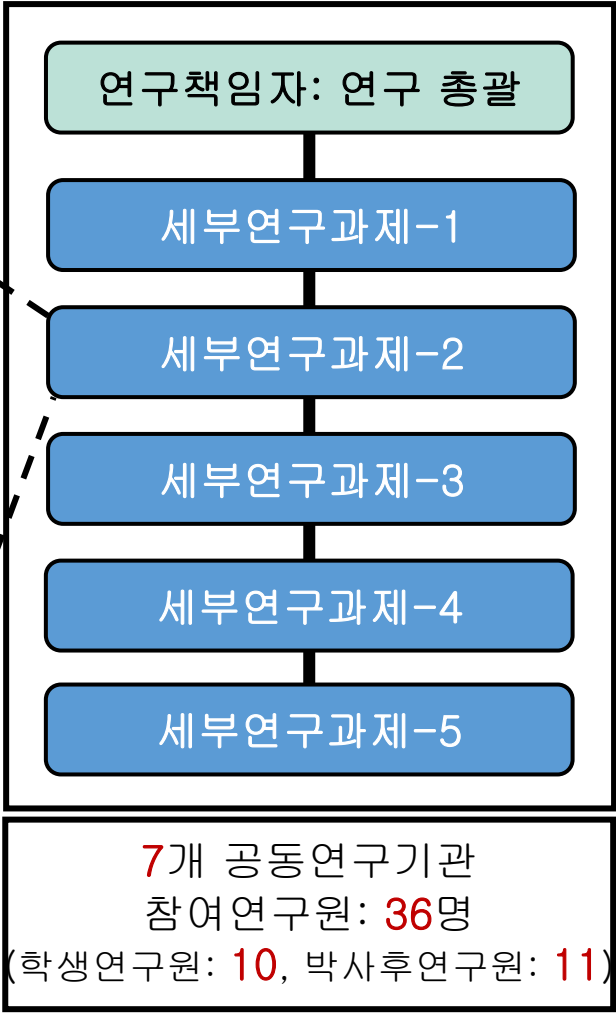
SKA 전파망원경을
이용한 세부 연구과제

세부 연구 책임자:
전문성/경험을 갖춘 연구자

참여 연구원:
전문성/경험을 갖춘 연구자

신진 연구인력:
학생/박사 후 연구원

국제 협력:
관련 해외 연구기관/연구자



- 국제 협력

 - 국내외 참여연구원들의 상호 연구 방문
 - 학생/박사 후 연구원의 해외 연구기관 파견
 - 국제 학술지/학술대회 연구발표
- 국내 협력

 - 국내외 SKA 워크숍 개최 (연 2회 이상)
 - 뉴스레터 발간 (연 2회 이상)
 - 참여연구원들의 정기 회의 (월 1회 이상)
 - SKA 여름 or 겨울 학교 개최 (연 1회)
- 한국형 SKA 과학연구 개발

→ 우수한 신진 연구인력 개발

→ 국내 전파천문학 저변 확대

→ 한국의 SKA 참여와 선도 과학연구 수행

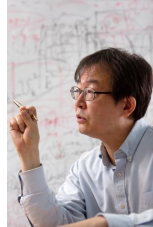
세부연구과제 1. 우주자기장 연구

연구책임자: 류동수 (UNIST) + 참여연구원 (3)

신진연구인력(1차년도): 학생연구원 (2) + 박사후연구원 (3)

국제협력: MeerKAT, ASKAP 연구그룹

사용되는 관측기기: 남아공 MeerKAT, 호주 ASKAP



연구 목표 / 내용

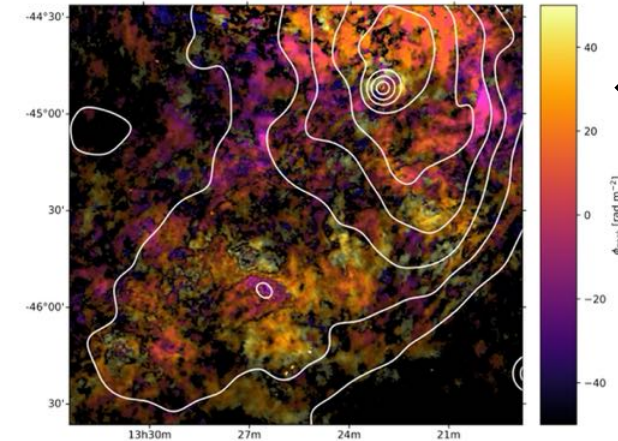
- MeerKAT, ASKAP의 extragalactic 패러데이 회전(RM) 서베이 참여
 - 은하단, 은하 필라멘트에서 우주자기장에 의한 RM 성분을 분리하기 위한 다양한 분석 수행
 - Cosmic web에서 RM 시뮬레이션과 비교를 통해 우주자기장의 분포 및 기원 규명
- 장파장 전파망원경에서 RM 관측 및 분석기법 습득
- 우주거대구조에서 자기장을 포함한 물리과정의 연구를 위한 우수 신진 연구자 양성
- 추후 SKA를 활용한 우주자기장 연구의 초석 마련



남아공 MeerKAT

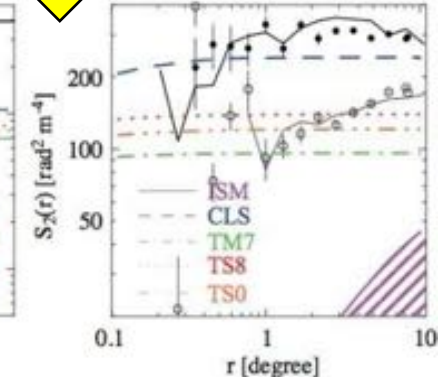
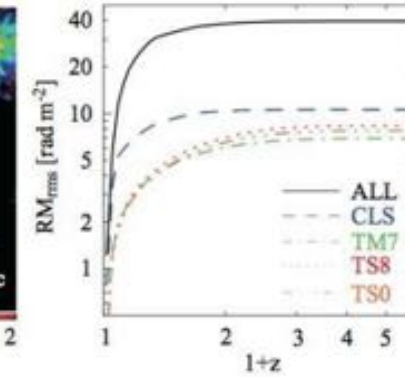
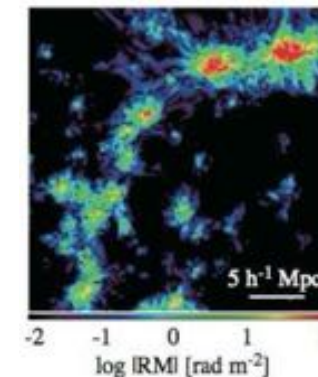


호주 ASKAP



Cen A 은하 남쪽
부분의 ASKAP RM 관측
(Anderson et al 2018)

(왼쪽) 우주자기장에 의한
RM 지도 시뮬레이션, (중간)
예측되는 RM 값의 적색편이
분포, (오른쪽) RM의 2차 SF
(Akahori et al 2011)



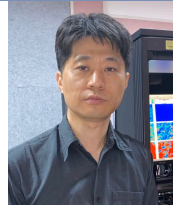
세부연구과제 2. MWA 및 HERA 기반 우주 재이온화 탐색

연구책임자: 안경진 (조선대) + 참여연구원 (3)

신진연구인력(1차년도): 학생연구원 (1) + 박사후연구원 (1)

국제협력: 서호주대학교, 맥길대학교, Scuola Normale
Superiore

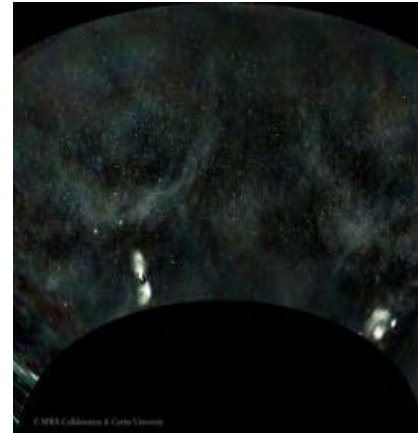
사용되는 관측기기: MWA(호주), HERA(남아공)



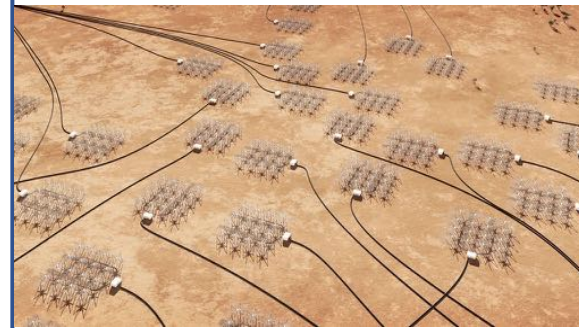
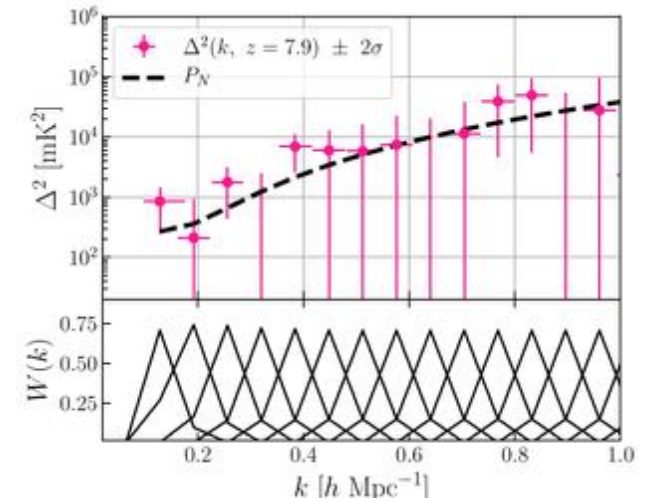
연구 목표 / 내용

- MWA 및 HERA 전파망원경을 이용하여, 우주 재이온화 과정 중 발생하는 물질의 공간 분포 비균일성 3차원 지도 작성
 - 우주론적 규모에서 발생하는 이온화 거품의 크기, 분포, 형태 조사
 - 기존에는 부재한 새로운 데이터 획득 및 분석
- 최초 발견이 임박한 관측기기의 데이터 획득
- 우주 재이온화를 관장하는 물리량의 정량적 추론
- SKA 정밀 3차원 이미지 관측에 대비한 망원경 운용법 및 분석법 습득

MWA 전천 관측



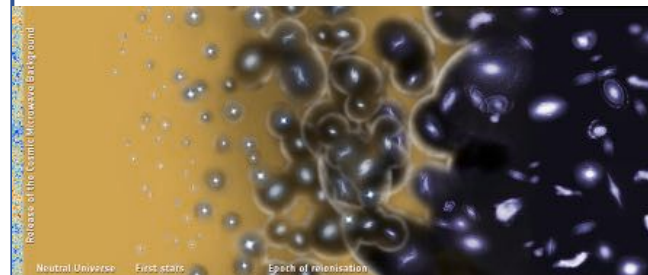
HERA 파워스펙트럼 (상한값)



MWA Phase



HERA Phase I



← 본 연구의 최종
과학임무: 재이온화로
발생한 거대 이온화
거품 구조 관측

세부연구과제 3. 외부은하의 중성수소 가스 관측연구

연구책임자: 오세현 (세종대) + 참여연구원 (3)

신진연구인력(1차년도): 학생연구원 (5) + 박사후연구원 (4)

국제협력: 북경대학교, 서호주대학교, 중국과학기술대학교, 시드니대학교

사용되는 관측기기: FAST 500-m 전파망원경 (3년동안 약 400시간의 관측시간 확보)



연구 목표 / 내용

- FAST 500m 전파망원경을 이용하여 우리은하 주변의 20여개 외부은하들에 대한 고감도 중성수소 전파관측 수행
- 가스동역학이 은하 내 별 생성 과정에 미치는 영향 조사
- 은하 외곽의 주변부 매질(CGM)에 분포하는 수소가스 특성 조사
- 최신 은하 형성/진화 모델에 대한 관측적 검증 수행

→ 대형 전파망원경 관측 및 관측자료 분석기법 습득

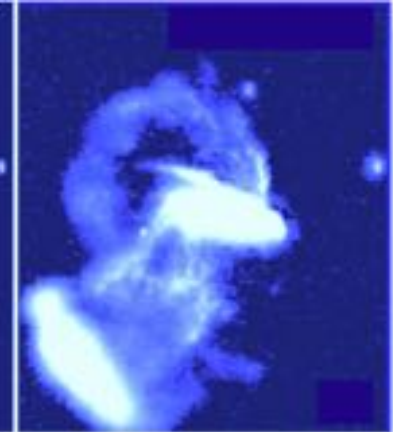
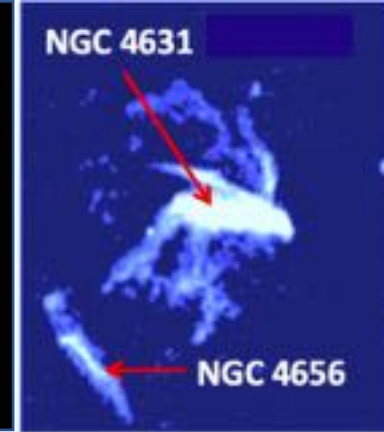
→ 국제협력을 통한 관련 연구분야의 우수 신진 연구자 양성

→ SKA를 이용한 외부은하 중성수소 가스 동역학 연구의 초석

광학 관측 (별)

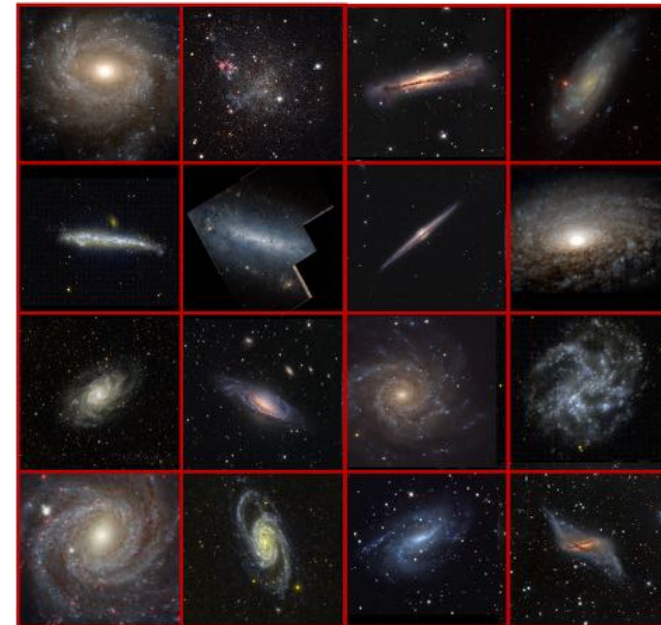


전파 관측 (수소가스)



기존 관측

FAST 관측



FAST 500m 전파망원경

본 연구를 통해
전파관측이 이루어질
외부은하들
(광학 이미지, 별)

세부연구과제 4. 대마젤란은하와 소마젤란은하 성간물질 연구

연구책임자: 이민영 (천문연) + 참여연구원 (8)

신진연구인력(1차년도): 박사후연구원 (5)

국제협력: 호주국립대학교, CSIRO, 맥커리 대학교

사용되는 관측기기: ASKAP (호주)

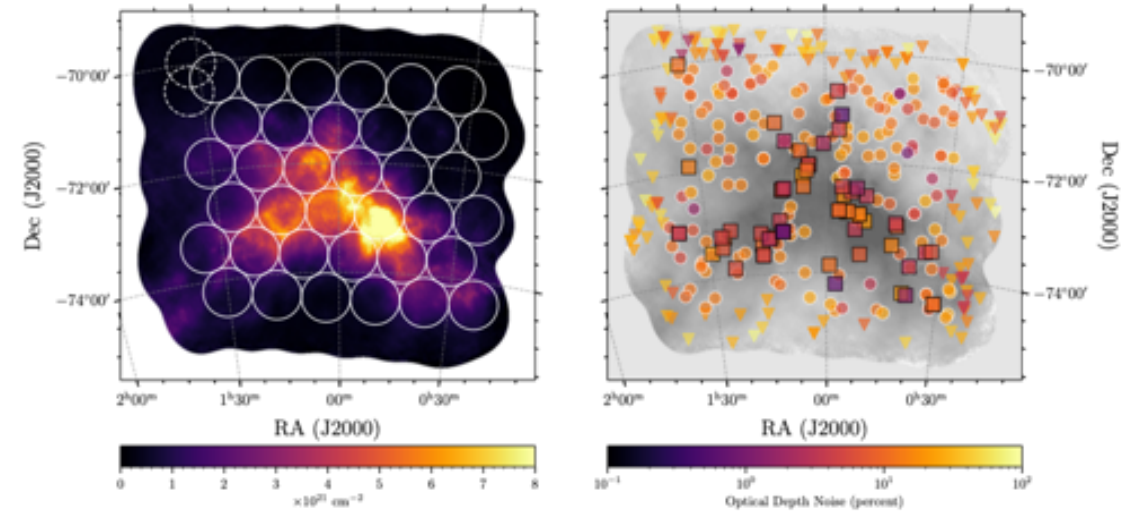
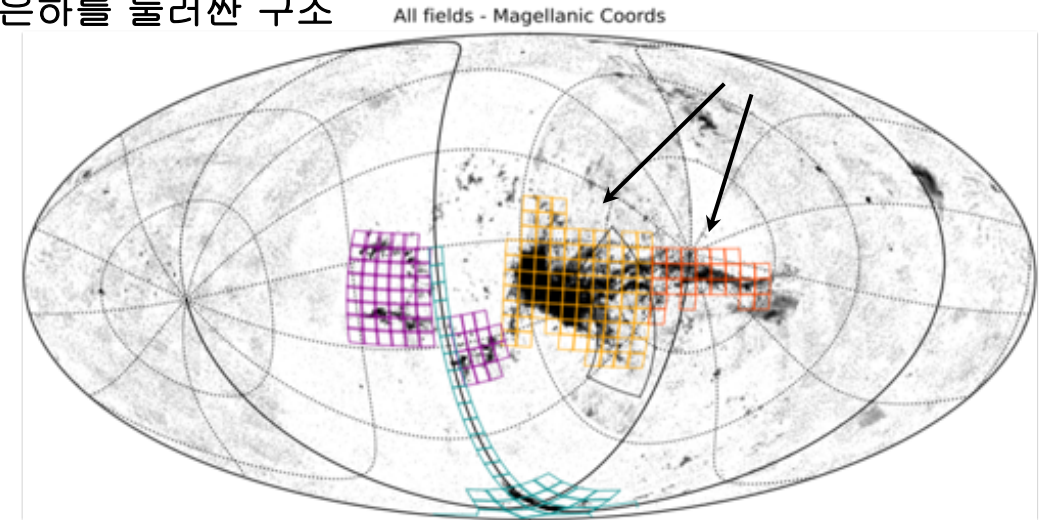


연구 목표 / 내용

- 대마젤란은하와 소마젤란은하 내 성간물질을 고분해능으로 연구:
- ASKAP으로 얻은 중성수소 방출선 관측 자료를 분자가스 분포와 비교하여 분자가스 형성 기작을 연구
- ASKAP으로 얻은 중성수소 흡수선 관측 자료를 분자가스 관측과 비교하여 차가운 중성수소가 분자가스 형성에 미치는 영향을 연구
- 대마젤란은하, 소마젤란은하, 그리고 두 은하를 둘러싼 구조 내 중성수소를 구조함수로 분석하여 성간난류의 기원 및 특성 연구

→ 향후 SKA를 사용한 우리은하 및 주변 은하 내 성간물질 연구의 초석 마련

ASKAP으로 관측할 대마젤란/소마젤란은하와 두 은하를 둘러싼 구조



테스트 관측으로 얻어진 소마젤란은하내 중성수소 방출선(좌) 및 흡수선(우) 관측 자료

세부연구과제 5. 우주거대구조를 이용한 우주론 연구

연구책임자: David Parkinson (한국천문연구원) + 참여연구원 (7)

신진연구인력(1차년도): 학생연구원 (2) + 박사후연구원 (4)

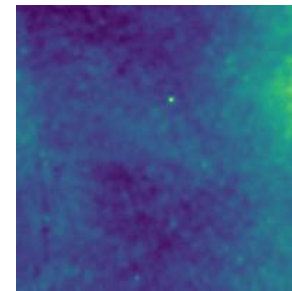
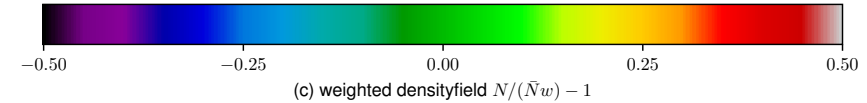
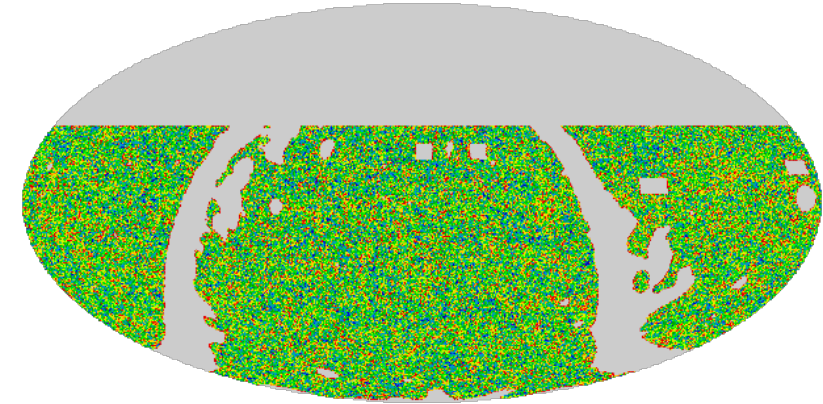
국제협력: 호주 서호주대학교, 커틴대학교, 에딘버러 대학교, 토리노 대학교, 호주 퀸스랜드 대학교, 스페인 CIEMAT

사용되는 관측기기: ASKAP (호주), MWA (호주)

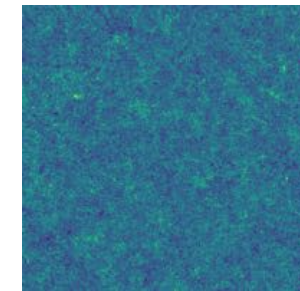


연구 목표 / 내용

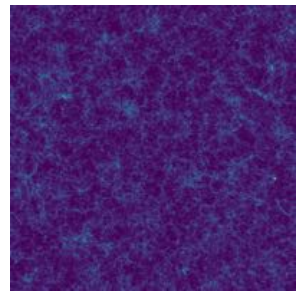
- 남반구 하늘의 전파 관측자료를 이용한 우주론 연구:
 - ASKAP – EMU, WALLABY 관측을 통한 수천만개의 외부은하들에 대한 전파원 및 중성수소선 관측
 - MWA – GLEAM-X 관측을 통한 고감도 전파 연속복사 관측
- EMU와 GLEAM-X를 활용하여 우주에 있는 물질의 분포를 측정하고, 우주배경복사와 광학 관측에서 구한 은하 목록과의 상호 상관관계를 구하고자 함. 이를 이용하여 암흑에너지 및 우주 초기의 급가속팽창을 연구하고자 함
- WALLABY-EMU 툴리-피셔 관계를 이용해 은하의 고유속도 측정, WALLABY 관측을 이용한 물질과 속도의 분포 조사 및 우주의 구조 형성 이해. 인공지능을 활용하여 관측된 은하 자료로부터 눈에 보이지 않는 암흑물질의 밀도/속도장을 예측하고자 함
- 중성수소 광도지도와 DESI의 은하목록 간의 교차 상관관계를 구하여, 초기우주의 구조형성을 이해하고, 중성수소 광도지도와 가까운 곳의 신호를 효과적으로 구분하고자 함
- ASKAP와 MWA를 이용하여 향후 SKA를 이용한 우주론 탐사를 설계하고자 함



5.56 7.88 $T_b(K)$



-0.000702 0.00119 $T_b(K)$



0 0.00226 $T_b(K)$

(왼쪽) 먼 은하에서 나오는 중성수소 신호와 가까운 우주의 전파신호를 합친 관측 신호를 수치 모사한 지도. (가운데) 본 연구진이 개발한 방법을 이용해 가까운 우주의 전파신호를 제거한 신호. (오른쪽) 원래 먼 은하에서 나오는 중성수소 신호. 가운데 신호와 거의 같은 결과를 보여줌.

SKA 패스파인더인 ASKAP의 초기 관측에서 예상되는 은하의 밀도분포 (Bahr-Kalus et al 2022). ASKAP 자료는 EMU와 SKA 전파 연속복사 탐사의 기초자료로 쓰일 예정임.

□ SKA-Korea 2023 겨울 미팅 (신라스테이 천안)



SKA-Korea 겨울미팅

2023.01.18(수)~19(목)

Workshop Agenda

- SKA-Korea 소개
- SKA-Korea의 연구 계획
- SKA-Korea의 연구 계획
- SKA-Korea의 연구 계획
- SKA-Korea의 연구 계획
- SKA-Korea의 연구 계획

□ 41명 등록 (박사 후 + 학생 연구원 포함)

□ SKA 프리커서/패스파인더
전파망원경으로 이용한 세부연구계획
논의

□ 간접계 미니 강의 + 실습

□ SKA 기획보고서 논의

□ 연구 교류 / 협력