

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

보안과제(), 일반과제(O)

과제번호 2016185001

우주탐사를 위한 행성계 기반연구

2017. 01. 25.



국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

제 출 문

한국천문연구원장 귀하

이 보고서를 "우주탐사를 위한 행성계 기반연구" 과제의 보고서로 제출합니다.

2017. 01. 25.

주관연구기관명 : 한국천문연구원

주관연구책임자 : 조경석

연 구 원 : 김연한, 임은경, 김록순, 김수진, 곽영실,
이재진, 황정아, 김경찬, 박재홍, Vasyl
Yurchyshyn, Pankaj Kumar, Anand Joshi,
조일현, 이병석, 장수정, 이영숙, 양태용,
조경복, 손종대, 문홍규, 최철성, 한원용,
임홍서, 최영준, 김명진, 노동구, 박진태,
이희재, 최정용, 오영석, 이대희, 고경연,
김민규, 김성진, 김일중, 김재영, 김태현,
문봉곤, 박성준, 박영식, 박원기, 서현종,
이덕행, 정웅섭, 표정현

협동연구기관명 : 한국과학기술원

" : 한국과학기술정보연구원

협동연구책임자 : 민경욱

" : 유정록

보고서 요약서

과제고유번호	2016xxxxx	해당단계 연 구 기 간	2016.01. - 2016.12.	단계 분	(1단계)
연구사업명	한국천문연구원 운영비 지원사업				
연구과제명	대과제명	천문우주 연구 및 운영			
	중과제명	중과제명 : 우주탐사를 위한 행성계 기반 연구 세부과제명: 1. 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구 2. 내 태양계 소천체의 자전 및 표면특성 연구 3. 우주용 소형 적외선탑재체 개발 4. 달탐사용 적외선 분광기 개발 및 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개발			
연구책임자	조경석	해당단계 참여 연구원수	총 : 31명 내부 : 16명 외부 : 15명	해당단계 연 구 비	정부 : 1,670,000천원 기업 : 천원 계 : 1,670,000천원
		총연구기간 참여 연구원수	총 : 60명 내부 : 41명 외부 : 19명	총연구비	정부 : 3,170,000천원 기업 : 천원 계 : 3,170,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국천문연구원 우주과학본부	참여기업명			
국제공동연구	상대국명 : 미국	상대국연구기관명 : HU/APL, NJIT/BBSO			
위탁연구	연구기관명 : 1. 한국과학기술원 2. 한국과학기술정보연구원	연구책임자 : 1. 민경욱 2. 유정록			
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)			보고서면 수	204	
1. 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구 <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양활동 미세구조 및 CME/플레어 진화 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 태양표면 미세구조 활동현상과 관련된 자기장 변화 및 파동현상 연구 - CME/플레어와 연관된 입자가속 연구 ○ 방사선대 플라즈마 입자의 생성/이동/소멸현상 및 전지구 전리권 밀도 불균일 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 자기부폭풍과 방사선대전자 생성 관련성 및 초상대론적 전자방사선대 구조 연구 - 적도/저위도, 중위도, 고위도 지방의 전자밀도 불균일성의 시공간적 특성 연구 ○ SCI 논문 게재 30편, 비 SCI 1편, 국제학술발표 34편 					
2. 내태양계 소천체의 자전 및 표면특성 연구 <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양계 소천체 물리적 특성연구 <ul style="list-style-type: none"> - 소행성 자동판측 스케줄러 및 클라우드 컴퓨팅 분산자료처리 소프트웨어 개발 - 소행성 물리적 특성 규명 41건 					

- 달과학 연구 및 달탑재체 개념연구
 - 광시야 편광카메라, 플라즈마 탑재체 패키지, 달 적외선 분광기
- 내태양계 소천체 SCI 3편 게재

3. 우주용 소형 적외선탑재체 개발

- 전전 적외선 영상분광 탐사 기기 개념 설계
 - 전전 적외선 영상분광 탐사 기기를 위한 개념 설계
 - 전천 적외선 영상분광 탐사를 위한 검교정 사전 설계
- 소형 적외선 탑재체 개발 / 성능평가 / 자료처리
 - 과기3호 주탑재체 적외선카메라 (MIRIS) 운용 및 관측 자료 처리
 - 로켓탑재용 적외선카메라 (CIBER2) 전자부 조립, 성능시험 및 적외선 센서 검교정
 - 차세대소형위성 1호 적외선탑재체 (NISS) FM 제작, 조립, 성능 시험
- 적외선 관측자료를 활용한 과학연구
 - 적외선 관측 자료 획득 분석 및 과학연구
 - SCI(E) 논문 6편, 국내 SCI 논문 1편 게재

4. 달탐사용 적외선 분광기 개발 및 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개발

- 적외선 분광기 사양정립
 - 요구사항분석
 - 임무시나리오
 - 과학요구사항 분석
- 적외선 분광기 개념설계
 - 광학계 요구사항
 - 광학계 개념설계
 - 광기계부 개념설계
 - 전자부 개념설계
- 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개념설계
 - 설계개념
 - Prototype PCB 제작 시방
 - FPGA 로직 제작 시방
 - GRS 전자부 모듈 개발모델(Development Model) 제작 및 시험

색인어 (각 5개 이상)	한글	근지구 우주공간, 자기권, 방사선대, 전리권, 고층대, 태양미세구조, 코로나질량방, 행성과학, 달과학, 소행성, 태양계 소천체, 편광, 지구접근천체, 원경, 변광천체, 외계행성, 미시중력렌즈, 탐색 관측, 광기술, 우주용 분광기, 적외선 카메라, 적외선 천문학, 적외선 검교정시스템, 별탄생 은하
	영어	Earth Space, Magnetosphere, Radiation Belt, Ionosphere, Upper Atmosphere, Solar Fine-scale Structure, Coronal Mass Ejection, Planetary Science, Lunar Science, Asteroid Small Solar System Bodies, polarization, Near-Earth Object, Telescope, Variable object, Exoplanet, microlensing, Observational survey, Optics Technology, Spectroscopy in Space, IR camera, IR Astronomy, IR Calibration System, Star-forming galaxy

요약문

I. 제목

우주탐사를 위한 행성계 기반연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 목적

- 우리태양 및 태양계의 환경을 이해하고, 미래 우주탐사를 위한 과학지식 기반을 마련함
 - 우주활동을 위한 근지구 우주환경 격변현상 및 예측 연구
 - 태양의 고분해능 관측자료 분석을 통하여 지구 및 행성계에 영향을 미치는 플레어, CME, 홍염분출 등 거시적 태양활동과 미시적 태양활동 관련성 규명
 - 태양계 소천체들의 물리적 특성조사와 달표면에 쌓여있는 소행성 충돌역사 정보로부터, 지구위협 소행성의 근지구 공간 유입과정을 규명하여, 우리 태양계 초기의 동역학적 환경과 진화과정을 밝힘
 - 전천 영상분광 탐사를 위한 적외선 영상분광 관측 기술 개발

2. 필요성

- 근지구 우주환경의 급격한 변화로 인해 위성운용, 방사선 피폭, 통신교란 등의 피해가 발생함에 따라, 자기권 및 전리권/고충대기에서의 격변현상에 대한 물리적 이해가 필요
- 위성의 안정적 운영과 위성 및 지상 전력망/통신망 피폭 및 수명 단축을 예방하기 위해 근지구 우주폭풍에 대한 조기 예측 능력 확보가 필요
- 안정적 우주탐사 수행을 위한 우주환경 및 태양활동 정보 제공
- 태양계 기원과 진화 등 우주의 근원적 질문에 대한 호기심
- 유성 및 운석충돌 등의 우주위험대비를 위한 과학적 지식 축적
- 국내외 적외선 우주관측 자료로 적외선 은하의 생성과 진화를 연구하여, 우주별생성 역사를 규명
- 한국형 달탐사 및 행성탐사를 위한 연구기반
- 지속적인 우주탐사와 이를 통한 우주자원 활용
- 국가 우주개발 중장기 계획 및 국가과학기술기본계획의 우주환경 및 우주감시 체계개발의 기초 기반 연구 수행 필요

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구
 - 미세구조의 활동현상과 관련된 자기장 변화 및 파동현상 연구
 - CME/플레어와 연관된 입자가속 연구
 - 태양 플레어와 항성 플레어의 유사성 연구
 - 자기부폭풍과 방사선대전자 생성 관련성 및 초상대론적 전자방사선대 구조 연구
 - 적도/저위도, 중위도, 고위도 지방의 전리권 전자밀도 불균일성의 시공간적 특성 연구
2. 달 및 태양계 소천체 연구
 - 달 표면 편광관측 연구
 - 달 탑재체 개념연구
 - 태양계 소천체 물리적 특성연구
 - 소행성 자동관측 스케줄러 및 자료처리 소프트웨어 개발
3. 우주용 소형 적외선 탑재체 개발
 - 전천 영상분광 탐사를 위한 적외선 우주망원경 개발
 - 과학적 목적을 달성하기 위한 사전 연구 및 기반 연구 수행
 - 적외선 은하의 초기 형성과 진화 연구
 - 소형 적외선탑재체 발사, 운용 및 자료처리 파이프라인 개발
 - MIRIS, NISS, CIBER 등 우주 관측 자료를 활용한 성간물질 및 적외선 우주배경 복사 연구
 - 전천 영상분광 탐사 기기 개발을 위한 검교정 장비 및 지상 지원 장비 개발
4. 달탐사용 적외선 분광기 개발 및 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개발
 - 적외선 분광기 사양정립
 - 적외선 분광기 개념설계
 - 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개념설계

IV. 연구개발결과

- 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구
 - SCI 논문 30편 게재(비SCI 논문 1편 게재)
- 내태양계 소천체의 자전 및 표면특성 연구
 - KMTNet 망원경 활용 소행성 관측스케줄러 및 클라우드 컴퓨팅 분산자료처리 시스템 개발
 - 소행성 관측 41개

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

- 광시야 편광카메라, 플라즈마 탑재체 패키지, 달 적외선 분광기
- SCI 3편 게재
- 우주용 소형 적외선 탑재체 개발
 - SCI(E) 논문 6편, 국내 SCI 논문 1편 게재

V. 연구개발결과의 활용계획

- 천문(연)의 국제협력 연구 활성화와 논문 생산성 제고
- 근지구 우주폭풍 발생에 결정적인 영향을 미치는 물리적 인자 규명에 기여
- 국제경쟁력 있는 우주환경예보 모형을 독자개발 하는데 기여
- 위성 및 지상 전력망/통신망 피폭 및 수명단축 등의 경제적 손실 예방에 기여
- 안정적 우주탐사 수행을 위한 근지구 우주환경 정보를 제공
- 태양활동 고분해능 관측연구를 통하여 우주환경변화에 결정적 영향을 미치는 물리적 인자를 도출
- 지구위협 소행성에 의한 우주위험 대비를 위해 동역학적, 물리적, 광물학적 특성으로부터 충돌위험 예측 및 재난규모 평가에 활용
- 미래 자원/에너지원으로서의 달과 소행성에 대한 지질자원 지도 작성 및 직접탐사를 위한 임무설계 및 열적설계 핵심자료(궤도, 자전특성, 형상, 광물학적 특성) 제공
- 한국형 달탐사의 과학임무 주도 및 미래 행성탐사를 위한 과학지식 제공
- 항성의 구조와 진화 모형 및 외계행성의 물리량 분석 등에 중요한 물리적 근거를 제공
- 적외선 우주망원경 국제협력 기반 마련
- 중/대형 우주관측기기에 대한 기술과 개발 노하우 확보
- 한국주도 중/대형 우주망원경을 위한 원천기술 및 역량 확보
- 국내 창의적 / 독자적인 적외선 연구를 위한 과학그룹 양성
- 국제 수준의 우주천문 기기 그룹 도약

SUMMARY

I . Title

Basic Research on Planetary Systems for Deep Space Exploration

II . Project Goals and Necessities

1. Goals

- To investigate the nature of our solar system and extra solar systems, and prepare the knowledge for future space exploration
 - To understand and predict the upheaval phenomena on the near-Earth space environment for the space activities
 - To understand how the solar fine-scale activities to trigger the larger scale activities, such as flares, CMEs, and prominence eruptions, which affects on terrestrial and planetary systems, by analysing the high-resolution solar observation data
 - To understand the dynamical environment of early solar system and its evolution, the process for a potential hazardous asteroid to move into inner solar system by characterization of physical properties of small solar system bodies and lunar crater
 - To develop an infrared imaging spectrometer system for all sky survey

2. Necessities

- Understand the physical mechanisms on the upheaval phenomena of the Earth's magnetosphere and ionosphere/upper atmosphere damaging to the satellite operation, radiation exposure, and communication interrupt
- Predict earlier for the near-Earth space storm to secure national assets of our own satellites, ground power grids and communication networks
- Basic research to support the long-term national space exploration plan and national science & technology master plan of the space environment and space surveillance systems
- Provide the information of space environments and solar activities to perform the safe space exploration
- Provide human curiosity on formation and evolution of solar system
- Accumulate scientific knowledge for preparing against dangers from space, such as meteors and meteorite falls
- Studying the cosmic star-formation history of IR emitting galaxies by using archival data released in domestic and worldwide
- Sustainable space exploration and in-situ resource utilization

III. Science and Technological Implementation and Its Scope

- Solar physics and near-Earth space environment
 - Magnetic field variation and wave phenomena associated with solar fine-scale activities
 - Particle acceleration related with the CMEs and the flares
 - Relationship between solar and stellar flares
 - Relationship between sub-storms and electron acceleration in the radiation belt
 - The distribution of the ultra-relativistic electron in the radiation belt
 - Spatial and temporal characteristics of ionospheric electron density irregularities in the equatorial, low-, mid-, and high-latitudinal regions
- Lunar and small solar system bodies research
 - Polarimetric observation research for lunar surface
 - Conceptual study for on-board instruments of lunar exploration mission
 - Physical characterization of small solar system bodies
 - Schedular and data reduction pipeline for KMTNet observations
- Infrared space telescope
 - Possibility of International Collaboration for Infrared Space Telescope
 - Core Technologies of Medium/Large Infrared Space Telescope
 - Technical Review by Prephase Study of Infrared Instruments in Space
 - Conceptual Design of Space Infrared Spectrograph
 - Building-up Science Group for Infrared Space Astronomy
- Infrared Spectrometer and Electronics of Gamma-ray Spectrometer for Lunar exploration
 - Requirement and specifications for NIRS
 - Conceptual design for NIRS
 - Conceptual design of electronics part for GRS

IV. Results

- Solar physics and near-Earth space environment
 - Study on the basic processes of solar activities and the variations of near-Earth space environment
 - 30 SCI papers published
- Rotation and physical characterization of inner solar system bodies
 - Development of asteroid observation scheduler for KMTNet and cloud-computing data reduction system
 - Observations for 41 asteroids
 - Wide field polarimetric camera, Plasma package, lunar infrared spectrometer
 - 3 SCI paper published
- Infrared payload
 - Establishment of the Detailed Roles of Korea in International Collaboration Projects and Analysis of its Validity

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

- Analysis of the Scientific Requirements for International Collaborative Infrared Imaging Spectrometer and Basic Optical/Optomechanical/Structural Designs Satisfying the Requirements
- Definition of the Scientific Objectives Using the Infrared Space Telescopes

V. Application of the Products and Results

- o Contribution to identify the critical physical factors causing near-Earth space storms
- o Contribution to develop our own space weather prediction models
- o Prevention of the economic loss caused by satellite anomalies, breakdown of ground power grids and communication networks
- o Providing the information on near-Earth space environment for a safe space explorations
- o Derivation of the key parameters which contribute to the variation of space environments by analysing the high resolution data of solar activities
- o The Establishment of International Collaboration for Infrared Space Telescope
- o Core Technologies in Medium/Large Space Telescope and Korea-led Space Telescope
- o Possible Improvement of Domestic Technologies

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Research on solar activities and near-Earth space environment	1
Section 2. Lunar and small solar system bodies research	3
Section 3. Development of small Infra-red instrument	4
Chapter 2. Current Status of Domestic and Foreign Researches	6
Section 1. Research on solar activities and near-Earth space environment	6
Section 2. Lunar and small solar system bodies research	9
Section 3. Development of small Infra-red instrument	11
Chapter 3. Research Contents and Results	16
Section 1. Research on solar activities and near-Earth space environment	16
Section 2. Lunar and small solar system bodies research	46
Section 3. Development of small Infra-red instrument	62
Section 3. Development of Lunar Infra-red spectrometer and electronics of GRS/NS	155
Chapter 4. Degree of Achievement and Contributions to Related Fields	189
Section 1. Research product	189
Chapter 5. Application of Research Results	199
Chapter 6. International information of related science and technology	200
Chapter 7. Facilities and equipments	201
Chapter 8. Reference	202

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구	1
제 2 절 달 및 태양계 소천체 연구	3
제 3 절 우주용 소형 적외선탑재체 개발	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 1 절 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구	6
제 2 절 달 및 태양계 소천체 연구	9
제 3 절 우주용 소형 적외선탑재체 개발	11
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	16
제 1 절 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구	16
제 2 절 내 태양계 소천체의 자전 및 표면특성 연구	46
제 3 절 우주용 소형 적외선탑재체 개발	62
제 4 절 달탐사용 적외선 분광기 개발 및 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개발	155
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	189
제 1 절 목표달성도	189
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	199
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	200
제 7 장 연구시설.장비현황	201
제 8 장 참고문헌	202

제 1 장 연구개발과제의 개요

박근혜 정부는 2020년까지 달 착륙선 자력발사를 통한 우주탐사 실현이라는 목표를 수립하였고, 이에 우주과학을 주도하는 KASI는 한국형 달 탐사의 과학임무 발굴과 함께 성공적인 우주탐사를 돋기 위해, 근지구 우주환경, 태양활동, 행성과학, 더 나아가 외계행성계에 대한 물리적 특성을 이해하고 동 분야의 주도적 연구성과를 창출하고자 하고자 한다.

제 1 절 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구

1. 태양활동은 그 자체가 물리적으로 연구자들의 호기심을 자극하는 중요한 연구대상이기도 하지만 플레어나 코로나물질방출(Coronal Mass Ejections; CMEs), 홍염분출(prominence eruptions)과 같은 큰 규모의 현상은 근지구 공간, 달, 태양계 환경변화의 가장 큰 원인이 된다. 한편, 정부는 2020년까지 달 착륙선 자력발사를 통한 우주탐사 실현이라는 목표를 수립하였고 이러한 목표 하에서 우리나라의 우주과학연구를 주도하는 한국천문연구원은 한국형 달탐사의 과학임무 발굴과 함께 성공적인 우주탐사를 위해 태양계의 급격한 환경변화를 일으키는 태양활동에 대한 기초연구의 필요성이 증대되었다.
2. 근지구 공간, 달, 태양계 환경변화의 가장 큰 원인인 태양활동의 발생기작과 태양-지구간 공간의 전파과정은 아직 규명되지 않은 의문 중에 하나이며 0.1에서 수 각초(arc second) 사이의 미시적 분출과 자기재결합 현상의 연구는 거시적 현상(플레어, CME 등)을 이해하는데 꼭 필요하며 CME의 태양-지구간 전파과정을 명확히 규명하는 것은 정확한 우주환경의 예보 및 신뢰도 제고에 결정적인 요소라 할 수 있다.
3. 태양우주환경연구그룹은 그간(2009-2014년) ‘CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정’ 분야의 연구를 집중적으로 수행하여 2013년 기준 연간 20편에 달하는 연구성과를 달성한 바 있으며 태양, 지구자기권, 고층대기 분야의 연구자들이 공동으로 태양 및 근지구 우주공간의 상관성 측면에서 협업하여 연구를 수행해 왔다. 특히, 태양분야의 경우 주로 우주환경변화의 주요원인이 되는 CME와 관련한 거시적 현상 연구가 주를 이루었으며 2010년 이후 NST(New Solar Telescope)의 관측자료가 가용해지면서 고분해능 관측자료 분석연구가 일부 이루어지는 등 각 분야별 연구역량의 증대가 가시화되고 있다.
4. 최근 태양분야는 세계적으로 위성 및 지상 대형망원경을 이용한 고분해능 관측이 광학이나 전파영역 모두에서 활발히 이루어지고 있으며 고분해능 관측자료의 분석으로부터 태양의 미세구조(흑점의 세부구조, 제트/스피큘/피브릴/포어 등 미세규모의 다양한 동역학적 현상들) 연구가 급격히 부각되고 있다. 아울러 그간 많은 연구가 되지 않았던 다양한 규모에서 일어나는 태양대기의 충격파나 파동 현상들에 대한 보고가 급격하게 증가하고 있다. 이러한 세계적인 추세에 맞추어 태양우주환경연구그룹은 그간 미국, 일본 등 선진국과 활발한 협력을 수행하여 Hinode, SDO(Solar Dynamics Observatory)와 같은 고분해능 위성 관측자료와 현재 세계 최대의 지상태양망원경인 NST(구경 1.6미터)의 관측자료를 확보하였다. 아울러 최근 10여년 동안 추진되어온 ALMA가 2013년부터 완전 정상가동에 들어갔으며 본 연구그룹은 ALMA 자료분석에 참여하고 있으므로 향후 고분해능 전파관측자료를 활용한 연구도 가능하게 되었다.
5. 이러한 고분해능 관측자료를 활용한 태양 미세구조 연구나 지구 및 행성계에 영향을 미치는

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

CME나 플레어의 발생과정을 규명하는 연구는 세계적 연구결과 산출을 가능하게 할 것이며
그간의 연구성과를 고도화하는 첨경이 될 것이다.

6. 인류의 사회 경제적인 활동 무대가 우주공간으로 넓혀짐에 따라 위성상주 공간인 우주환경에 대한 인식 및 중요도 확산되고 있다. 근지구 우주환경인 자기권 및 전리권/고충대기의 급격한 변화로 인해 위성운용, 방사선 피폭, 통신교란 등의 피해가 발생함에 따라, 자기권 및 전리권/고충대기에서의 격변현상에 대한 물리적 이해와 그 현상에 대한 예측이 절실히 필요하다. 따라서 근지구 우주환경 격변에 의한 우주산업의 피해를 예방하기 위해서는 “태양풍-지구자기권-전리층/고충대기” 영역 전체는 연동된 시스템으로 이해하는 것이 필요하다. 이를 위해 “행성간 공간 물리”, “자기권 물리”, “전리권/고충대기 물리” 분야의 통합적 연구 수행이 절실히 요구되어진다.
7. 한편 정부에서는 2007년에 제1차 우주개발진흥 기본계획을 수립하여 ‘우주개발사업의 진흥 시책 강화’ 전략 중 ‘우주탐사 프로그램 준비’ 과제를 통해 우주개발의 기초가 되는 기초우주과학 투자를 확대하여 우주관측을 통한 태양계 및 천문 연구, 우주감시기술, 위성 및 통신시스템 운영에 필요한 우주환경 연구 역량 강화를 천명한 바 있다. 또한 2008년에 수립된 과학기술기본계획에 행성탐사 우주감시체계 개발기술을 중점육성후보기술로 선정하여 국가안위 및 위상제고를 위해 반드시 필요함을 역설한 바 있다. 그러나 “태양풍-지구자기권-전리권/고충대기”의 우주환경 연구는 국내 학계에서 각기 다른 영역을 독립적으로 수행하고 있을 뿐, 통합적 연구 수행은 오직 천문연구원만이 가능한 상황이다.
8. 한국천문연구원에서는 2007년에 중장기 발전전략로드맵을 수립하여 국제선도연구그룹 육성의 필요성에 대한 공감대를 형성하는 한편 중점연구 사업으로 “우주환경 예보센터 구축” 과제와 현재는 “우주환경연구센터 운영” 과제를 추진해 오고 있다.
9. 한국천문연구원 태양우주환경연구그룹은 지난 6년간(2009-2014년) 선도연구인 ‘CME 및 고속태양풍의 근지구 영향 과정 규명’ 연구 과제를 통하여, 태양활동과 그에 따른 자기권 및 전리권/고충대기 변화 연구를 수행해 왔다. 2015년도부터는 융합연구인 “우주탐사를 위한 행성계 기반 연구” 과제의 세부과제로서 우주활동을 위한 근지구 우주환경 격변현상 및 예측 연구를 목적으로 “근지구 우주공간변화 연구” 과제 수행이 시작되었다. 본 근지구 우주공간변화 연구 분야에서는, 위성 운용을 위협하는 지구 자기권 및 전리권/고충대기의 전반적인 격변 현상 연구와 태양풍-자기권-전리권/고충대기-저층대기간의 통합적인 에너지 교환 과정 연구를 통하여 자기권-전리권 폭풍의 발생기작을 규명하고 나아가 최종적으로 자기권/전리권/고충대기 상태의 예측을 고도화하는 것을 최종 목표로 설정하고 연구를 수행해 오고 있다. 특별히 2015년도에는 지구 자기권내 플라즈마 입자의 생성-이동-소멸 현상과 지구 전리권/고충대기의 밀도변화 연구를 수행하였다.
10. 최근 자기권 분야에서는 2012년 8월 NASA는 Van Allen Probes (VAP) 라 불리는 2기의 쌍둥이 방사선대 전용 관측 위성을 발사하였다. 그로 인해 기존에 알려지지 않은 방사선대 구조와 더불어 새로운 방사선대 생성 및 소멸 원리를 제시하고 있다. 또한 기존에 운용중인 THEMIS, POES, LANL, GOES 위성 등과의 연계 관측을 통해서 동 시간대의 다양한 위치에서의 다중 위성 관측이 가능해지면서, 자기권 내 모든 현상들을 다양한 각도에서 통합적으로 연구할 수 있는 기회가 주어진 상황이다. 최근 2015년 3월에는 4기의 NASA MMS(Magnetospheric Multiscale) 위성의 발사로 인해서 자기권 변화의 초미세 구조 변화에 대한 연구 또한 가능해진 상황이다. 한편 한국천문연구원은 VAP 위성 자료를 실시간으로

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

수신할 수 있는 안테나를 보유하고 있어, 전 세계 누구보다 앞서 위성자료를 분석할 수 있는 우위에 있다.

11. 자기권과 지구대기의 관문인 전리권의 전자밀도 불균일성은 통신과 항법시스템을 무력화 시킬 수 있을 만큼 강력한 우주기상 현상이고 고층대기의 밀도 변화는 근지구 위성의 궤도와 수명에 직접적인 영향을 미친다. 위와 같은 중요성 때문에 전자밀도 및 고층대기밀도 변화에 대하여 무수히 많은 선행 연구가 있었다. 하지만 관측 자료의 부족으로 전 지구적 밀도 변화의 특성과 원인은 여전히 연구 주제로 남아있다. 최근까지는 단일 위성자료에 의한 전리권/고층대기 변화 연구에 의존해 왔는데, 최근 발사된 동일한 3대의 위성으로 구성되어 있는 유럽 항공 우주국의 SWARM 위성군에 의한 관측은 전지구 전리권/고층대기변화의 시간적/공간적 규모 분석을 가능케 한다. 고위도 전리권/고층대기의 다양한 물리적 구성요소 관측을 할 수 있는 지상에서 가장 강력한 관측 네트워크가 EISCAT(Europeon Incoherent Scatter Scientific Association)인데, 천문연구원은 지난 10월 20일자로 협약을 체결하여 affiliate 회원가입을 함으로써 실시간 관측시간 확보와 관측 자료를 활용할 수 있는 권한을 가지게 되었다. 이를 통하여 앞으로 북극 전리권/고층대기 관측 자료를 확보할 수 있는 우위에 있게 되었다. 특별히 우주환경연구센터에서 “우주환경예보센터 구축사업”의 일환으로 2009년 10월에 구축하여 운용해오고 있는 VHF 전리권 레이더의 축적된 관측 자료는 중위도 전리권 불균일 현상의 통계적 특성이나 발생 패턴을 연구할 수 있는 유일한 지상관측 자료이다.
12. 다중 위성 및 강력한 지상관측 자료를 활용한 근지구 우주공간변화 연구를 통하여 자기권-전리권 폭풍 발생에 결정적인 영향을 미치는 물리적 인자를 찾아내고, 나아가 이를 기반으로 최종적으로 자기권/전리권/고층대기 상태의 예측을 고도화하는데 기여할 것이다.

제 2 절 달 및 태양계 소천체 연구

1. 미지의 세계를 탐사하고 이를 활용하기 위해서는 탐사 대상에 대한 종합적인 과학지식이 선행되어야 한다. 우주탐사를 위한 체계적인 과학지식은 과학적 발견의 축적과 이에 대한 해석을 통하여 이루어지는데, 특히 새로운 탐색체 기술의 발전과 매우 밀접하게 연계되어 있다. 최근에는 우주탐사를 통한 즉각적인 과학발견 뿐 아니라, 탐사임무 종료 후에도 자료처리 기술의 개선, 타 자료와의 융합을 통한 종합적인 연구도 활발히 진행되고 있다. 우리나라 도 달탐사를 시작으로 소행성 및 화성 같은 우주탐사를 준비하는 것을 국가우주개발중장기 계획에 적시하였지만, 우리나라의 행성과학 연구자가 거의 전무한 상태이다. 이에 본 과제는 정부출연연구기관으로서 중단기적으로는 달탐사라는 국정과제를 성공적으로 추진하고, 장기적으로는 우주탐사를 위한 과학임무를 제시할 수 있도록, 행성과학 연구기반을 조성하고자 한다. 한편, 우주탐사의 과학임무주제는 본격적인 탐사임무가 시작되기 전부터 준비되어야 하며, 탐사임무가 끝나더라도 탐사자료를 꾸준히 분석하여 연구를 수행해야만하기 때문에 출연기관의 주요사업에서 추진되어야 할 필요가 있다.
2. 달탐사를 통한 과학연구는 매우 다양하지만, 현재 우리나라의 관련연구자들의 연구와 연계성을 고려했을 때, 현재 달표면의 물리적 특성과 달표면 충돌흔적에 대한 연구가 가능하다. 대기가 없는 달 및 소행성에 미소운석(micrometeorite), 태양풍에 의한 표면변화를 우주풍화(spaceweathering) 과정이라고 하는데, 특히 달은 약 40억년 동안 내태양계의 충돌, 태양의 변화를 고스란히 간직하고 있다. 반면 지구는 활발한 행성작용(화산, 지진, 풍화 등)으로 이러한 정보들이 대부분 소실되었다. 따라서 달 표면의 충돌구(크레이터)는 소행성, 혜성과 같은

태양계 소천체들에 의해 생성되었기 때문에 이러한 충돌흔적은 달 자체 연구는 물론 태양계의 충돌역사를 재구성할 수 있는 중요한 자료로 활용할 수 있다. 태양계 생성 초기의 물질을 포함하고 있는 달 및 소천체 연구는 우리 태양계의 생성과 진화에 관한 중요한 힌트를 제공한다.

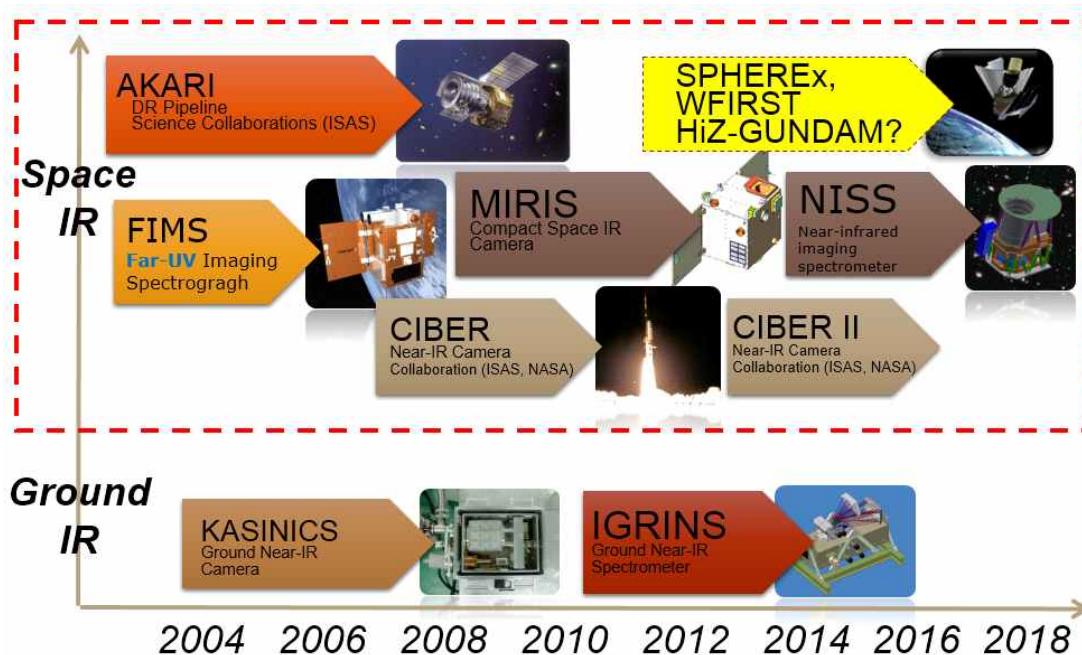
3. 달에는 헬륨3 뿐 아니라 다양한 광물질 등이 존재하고 있으며, 최근에는 극지역에 물의 존재가 확인되었다. 특히 3D 프린터의 발달로 현지에서 자원을 활용하는 ISRU(In-Situ Resource Utilization)에 대한 연구가 차세대 우주탐사의 방법론으로 부상하고 있다. 아울러 물은 유인탐사를 위한 생활용수, 산소 공급, 우주공간에서의 추진제 원료로 활용 가능하기 때문에 매우 중요한 ISRU 테마이다. 한편, 소행성에도 희토류와 희귀광물이 매장되어 있는 천체가 많은 것으로 알려져 있으며, NASA에서는 근지구 소행성 중에 미래 유인탐사 가능소행성 리스트 NHAT(Near-Earth Object Human Space Flight Accessible Targets Study)를 꾸준히 관리하고 있다. 현재 10,000개가 넘은 근지구소행성이 발견되었으나, 자료의 대부분은 궤도요소에 국한된다. 근지구소행성 가운데 천체의 형상과 크기, 자전특성과 표면 광물조성이 알려진 것은 5% 미만이기 때문에 근지구소행성의 물리적 특성 연구가 시급하다.
4. 최근 러시아 켈랴빈스크 운석과 진주운석 낙하 사건 등으로 인하여 천체에 의한 충돌위협에 대비해야 한다는 각성이 대두되고 있다. 이러한 충돌위협에 효과적으로 대응하기 위해서는 해당 천체들을 효율적으로 검출하고 잠재위협을 경감할 수 있는 방안을 도출해야 한다. 이를 위해서는 해당 천체들이 어떻게 만들어져 어디에 많이 분포하는가, 어떤 과정을 통하여 근 지구공간으로 유입되는가, 그 물리적 특성과 구성 성분은 어떠한가에 대한 종합적 이해가 필요하다.
5. KMTNet을 활용하여 근지구소행성(Near Earth Asteroids, NEA)의 물리적인 특성과 표면의 광물 특성을 망라한 세계최초의 균질한 DB를 구축, 과학연구와 위협대비에 필요한 기초자료로 활용한다.
6. 소행성 종족연구를 통해 NEA 공급지역, 즉 궤도공명 지역(resonance region)으로부터 근 지구공간으로 운반되는 NEA의 유입경로를 규명, 내태양계 진화역사의 단면을 재구성한다.
7. 달 편광관측을 통해 자기장특이지형 표토의 특성을 규명, 해당 지역의 형성이론 확립에 기여한다. 또한, 월면 상의 위치에 따르는 입자크기 분포를 구해 우주기상환경(우주풍화)의 비등방성을 이해한다.

제 3 절 우주용 소형 적외선탑재체 개발

1. 우주망원경 프로젝트는 적외선 관측 파장대에서 지상 관측에 비해 낮은 배경 열잡음에 의해 작은 구경임에도 높은 감도와 해상도를 구현할 수 있으며, 성간물질, 별 및 은하의 생성과 진화를 이해하는데 매우 중요한 관측 자료를 제공하고 있다.
2. 빅뱅에서 기인된 큰 에너지양인 마이크로웨이브 우주배경복사 (CMB) 이외에 우주 초기의 별과 은하들의 형성과 진화는 외부은하 배경밝기 (Extragalactic Background Light, EBL)에 기여되어 주로 적외선 파장 대에서 관측이 된다 (적외선 우주배경복사; Cosmic Infrared Backgroud, CIB). 최근 20여년간 적외선 우주관측 결과로 밝혀진 적외선 우주배경복사의 넓

은 공간 분포는 아직 이론적으로 설명할 수 없어, 다양한 방법을 통해 관측이 시도되고 있다. 또한, 대형 적외선 우주망원경으로도 적외선 우주배경복사의 주요 요인으로 여겨지는 개별적인 천체에 대한 관측이 불가능하기 때문에, 퍼진 광원 (diffuse source) 형태로 관측되는 적외선 우주배경복사는 소형 적외선 우주 탑재체로 연구하기 적합한 주제이다. 적외선 우주 배경복사 관측을 위해 광역 적외선 영상관측을 위해 최적화된 MIRIS (Multipurpose InfraRed Imaging System)를 과학위성 3호에 탑재해 발사하여 1년 반 동안 운영하였으며, 로켓 적외선 탑재체인 CIBER (Cosmic Infrared Background ExPeRiment)를 여러 차례 발사/운영하여 일부 딥필드에 대한 분광 및 광역 영상 관측 자료들을 확보하였다.

3. 현재까지 예측되는 모델링과 관측 결과들에 따르면, 적외선 우주배경복사는 큰 규모의 요동을 보이고 있으며 $1\mu\text{m}$ 근방에서 최대 값은 가지고 있다. 이러한 결과들을 좀 더 명확하게 확인하기 위해서는 넓은 필드 관측이 유지하며 분광 정보를 가질 수 있는 관측이 필요하다. 이러한 목적을 위해 현재 근적외선 영상분광기 (NISS)와 다음 로켓 미션인 CIBER2가 개발 중이며, NISS는 차세대 소형위성 1호 과학 탑재체로 실려 2017년에 발사후 운영할 계획이고 CIBER2는 2016년 말 혹은 2017년에 첫 발사가 계획되어 있다. 본 과제에서는 개발이 진행 중인 세 미션들에 필요한 우주 핵심기술들을 확보하고 (아래 그림 참조), 이로부터 소형 적외선탑재체를 개발하기 위한 우주핵심기술을 확보하고 이로부터 과학적인 성과를 얻고자 한다.



제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구

1. 선진국 현황

- 가. 최근 10년간 태양활동 연구분야에서는 SOHO, TRACE 관측자료를 이용한 연구들이 계속 되었고 일본의 Hinode, 미국의 SDO, STEREO 등 태양관측위성들이 추가로 발사되었다. Hinode 위성은 X-선 망원경과 극자외선 영상분광기와 함께 50cm 구경의 광학망원경을 탑재하여 지구대기에 방해받지 않는 고 해상도의 관측자료를 제공함으로써 태양광구 및 채층의 측광 및 분광학적 특성 연구에 큰 발전을 가져왔다. SOHO의 다음 버전이라고 할 수 있는 SDO는 12채널의 극자외선 영상과 자기장 관측자료를 제공하여 태양대기에서 일어나는 활동현상을 더욱 잘 이해할 수 있게 하였다. STEREO는 CME의 3차원 정보를 제공함으로써 CME 운동학과 지구 영향과정을 더욱 잘 이해할 수 있게 해 주었다.
- 나. 한편, 지상기반의 태양 고분해능 관측연구의 시초가 된 1m 구경의 Swedish Solar Telescope(SST)이 스페인의 La Palma에 설치되어 2001년부터 관측을 시작하였고 2009년에는 뉴저지공과대학(NJIT)의 빅베어태양관측소(BBSO)에 1.6m 구경의 New Solar Telescope(NST)이 설치되어 관측을 수행하고 있다. 그리고 4m 구경의 차세대 태양망원경인 DKIST(Daniel K. Inoue Solar Telescope)와 EST(European Solar Telescope)가 개발 중에 있다. 이들은 Adaptive Optics 기술을 활용하여 지상기반임에도 망원경의 회절한계에 달하는 관측성능을 보여주고 있어서 sub-arc second 규모의 태양광구 및 채층의 구조물에 대한 측광 및 분광학적 연구를 수행할 수 있게 하였다.
- 다. 이 외에도 중국은 1.8m급 Chinese Large Solar Telescope을 건설 중이며 인도는 2m급 National Large Solar Telescope 건설 사업을 추진 중에 있다. 특히 중국과 인도는 각각 1m급 NVST(new vacuum solar telescope)와 50cm급 다파장 태양관측망원경을 자체 개발하여 현재 운영 및 과학 연구에 활용 중이다.
- 라. 이와 함께 최근 개발된 관측기들은 기존 관측기와의 성능 차별화를 통해 기존에 관측되지 않았던 채층의 자기장 및 저층 대기의 3차원 분광, 전파 관측 등 새로운 태양 연구분야 개척을 시도하고 있다. 기존 SOHO, Hinode, SDO 등이 주로 태양의 광구, 채층, 코로나의 측광관측과 광구 자기장 관측에 중점을 두었던 것과 비교해 최근에는 채층 및 전이영역의 분광관측을 주목적으로 하는 IRIS, 채층의 전파관측이 가능한 ALMA 등이 주목받고 있으며, 일본에서는 Hinode에 이어 광구뿐만 아니라 채층 및 코로나의 자기장 관측이 가능한 SOLAR-C 프로젝트를 진행 중이다.
- 마. 미국, 일본, 유럽 등 우주 선진국에서는 근지구 우주환경 변화 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 특히 격변 우주환경 변화 연구가 지구 자기권 및 전리권/고층대기에서 활발히 수행 중에 있다. ‘근지구 우주환경 변화’ 연구 분야에 대한 재정 지원은 미국은 주로 NASA, 유럽은 ESA 그리고 일본은 JAXA 가 중심이 되어 진행하고 있으며, 그 외에 자료의 활용에 관하여서는 각 나라별로 진행되는 과학진흥재단들의 지원으로 이루어지고 있다. 특히 근지구 우주환경 연구를 위해 THEMIS, VAP, MMS, SWARM, ICON 등 여러 우주 관측 프로그램들이 국제협력을 통하여 수행 및 계획되고 있다.

- 바. 미국에서는 미해양대기청(NOAA), 미공군(USAF), 미항공우주국(NASA), 내무부(DOI), 에너지부(DOE), 그리고 미과학재단(NSF) 연합으로 우주기상 감시와 예보의 필요성을 인식하고 1996년 국가우주기상 프로그램을 수립하여 추진 중이다. 미항공우주국(NASA)의 고다드 센터(GSFC)는 근지구 우주공간관측 프로그램을 주관하고 있으며 우주환경관측시스템 운용 및 우주환경예보를 위한 통합모델 개발을 수행하고 있다. 미대기과학연구소(NCAR)의 고층대기관측본부(HAO)는 자기권, 전리권/고층대기에 대한 관측시스템 운용 뿐만 아니라, 각 분야에 해당하는 모델 개발 수행을 바탕으로 자기권연구, 전리권/고층대기연구가 아주 활발히 진행되고 있다. 미해양대기청(NOAA)의 우주환경예보센터(SWPC)는 미국방부, 항공 우주국 등 범 정부차원의 연구협력체계 구축 및 지상/위성의 모든 관측 자료를 실시간 수집하고 연구 자료를 제공하고 있다.
- 사. 일본은 우주개발단(NASDA), 일본항공우주국(JAXA), 일본통신연구소(NICT)등 정부관계 기관과 일본대학 산하에 있는 우주환경연구소(나고야대학, 교토대학, 규슈대학 등)와의 연계를 통해 태양-우주환경에 관한 연구를 수행하고 있으며 다양한 우주환경 정보를 제공하고 있다. 일본통신연구소 주도로 아시아-오세아니아권의 우주환경예보기관의 연대(Asia-Oceania Space Weather Alliance: AOSWA)를 구성하였다.
- 아. 유럽은 유럽우주항공국(ESA) 주도하에 우주환경 관측 위성 운용 및 국제간 우주환경 분야의 공동 연구를 수행하고 있다. 유럽연합은 3대의 위성으로 구성된 SWARM 위성군을 발사하여 전리권에서의 플라즈마 밀도 불균일 현상 및 표류속도와 자기장 교란 등의 시간적/공간적 규모를 규명하는 연구를 하는데 크게 기여하고 있다. 또한 유럽은 일본, 중국 연합으로 자기권-전리권 결합연구를 위한 세계 최고분해능 지상전리권 레이더 EISCAT(European Incoherent Scatter Radar)-3D를 구축 완료할 예정이다.

2. 국내 현황

- 가. 한국천문연구원은 Hinode, SDO와 같은 최신 위성관측자료를 이용한 태양의 자기활동 및 다파장 관측을 통한 태양활동 연구를 수행하고 있다. e-CALLISTO와 KSRBL 관측자료를 활용하여 CME와 연관된 Type II 전파폭발에 대한 연구를 수행하고 있으며 전파와 Hard X-ray 관측을 이용한 플레어 고에너지 입자에 대한 연구도 조금씩 이루어지고 있다. 2015년 Nobeyama Radioheliograph 운영에 참여하기 시작했으며 ALMA를 이용한 태양시험 관측에도 참여하고 있다. 그 동안의 CME연구의 연장선에서 최근에는 태양프로톤 현상과 플레어 및 CME의 상관관계에 대한 연구를 수행하고 있으며 고에너지 입자가속 현상을 보다 잘 이해하기 위하여 고에너지 전자에서 직접 방출되는 전파관측 연구에 집중할 예정이다.
- 나. 2014년 이후 NST를 활용한 천문연구원 태양우주환경그룹의 태양연구는 서울대학교 태양 연구그룹과의 연구 협력을 기반으로 FISS를 활용한 흑점 파동 연구 및 $H\alpha$ 필터 측광 자료를 활용한 태양 자기장 고분해능 연구에 집중되었다. 특히 2014년 BBSO의 연구원인 Vasyl Yurchyshyn 박사를 리더급 과학자로 영입하여 $H\alpha$ 측광 연구를 본격적으로 진행하였으며, 그 결과 플레어의 발생 과정, 플레어와 연관되어 나타나는 자기 플럭스 생성, 백색광 플레어 발생 과정 등 플레어를 대상으로 다파장 측광 관측이 활발히 이루어지고 있다. 이는 태양의 자기활동에 의한 우주환경의 변화 연구에 주력하고 있는 현재 태양우주환경그룹의 장기 방향에 NST와 같은 중대형 관측기를 활용한 태양 고분해능 연구가 어떻게 기여할 수 있는지를 잘 보여주는 예라 할 수 있다. 특히, 채총과 코로나 사이에 위치

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

한 전이영역을 통한 에너지의 이동이 코로나에서 주로 발생하는 분출현상을 이해하는데 중요한 만큼, 최근에는 EB나 플레이어와 같은 분출 현상 연구에 IRIS 자료를 보조적으로 함께 사용하고 있다.

- 다. 이와 같이 태양우주환경그룹은 지상 관측기를 활용한 고분해능 태양활동 연구 역량을 지속적으로 강화하는 한편, 2012년, 2014년, 2015년 각각 1명의 태양분야 연구 인력을 충원하여 지속적이고 장기적인 연구활동의 기반을 다지고 있다. 뿐만 아니라, 2014년 새롭게 시작된 리더급과학자 제도를 통해 NST 자료의 활용도를 높이는 동시에 고분해능 측광 연구 경험의 공유 및 연구 대상의 다각화를 꾀하고 있다. 최근 FISS 및 VIS를 활용하여 활발하게 진행하고 있는 파동연구에 이론적 역량 강화를 위하여 태양 파동연구분야의 대가로 알려진 Valery Nakariakov 교수와의 연구 협력도 진행 중이다.
- 라. 경희대학교는 CME/플레이어 연구와 자기구조 수치계산 연구분야에 있어서 많은 인력과 연구경험을 축적하고 있다. 특히 문용재교수 연구팀은 이미 다수의 플레이어/CME 분야에서 한국천문연구원과 협력연구 경험이 있고 CME 방향인자와 같은 국제적인 성과를 공동으로 달성하기도 하였다. 특히 태양우주환경그룹은 주로 관측연구에 집중하고 있어 수치계산 분야의 연구자가 없는데 이러한 취약분야의 보강을 위해 태양활동과 관련한 자기구조의 수치계산 분야에 있어 국내에서 독보적인 연구그룹이 있는 경희대와의 협력이 매우 중요하다. 협력연구를 통해 태양 코로나 자기장의 재구성 방법이 정립되고 코드의 개발이 이루어지게 되면 연구자들은 이를 활용하여 관측을 해석함으로써 논문의 질을 더욱 향상 할 수 있을 것이다.
- 마. 국내 대학에서는 “자기권-전리권/고층대기계”의 연구가 진행되고 있으나 각기 다른 영역을 독립적으로 수행하고 있다. 자기권 연구는 주로 경희대학교, 충북대학교, 한국과학기술원 및 충남대학교에서 수행하고 있으며, 특히 자기권 섭동에 대한 중이온 분포변화 연구, 자기권 MHD 시뮬레이션 연구 및 태양풍 충격파에 의한 우주폭풍 발생 물리 연구 등이 활발히 진행되고 있다. 전리권/고층대기 연구는 충남대학교에서 수행하고 있으며, 주로 전리권 모델 연구 및 극지방 전리권 특성 연구와 남극기지에서의 고층대기 관측 및 파동관련성 연구가 진행되어 오고 있다. 한편 경희대학교는 WCU 사업의 일환으로 달궤도에서의 우주관측프로그램을 추진하고 있다. 이 프로젝트를 위해 전리층의 이온, 중성자, 전자 및 자기장 관측을 위한 “TRIO CINEMA MISSION”을 미국 UC 버클리대학과 공동으로 진행하여 발사에 성공하였다.
- 바. 연구계에서는 천문연구원이 지자기측정기, 전리권 관측 레이더 및 전천카메라, GPS 네트워크 등의 국내 구축을 대체적으로 마무리하여 연구에 활용할 수 있는 관측데이터들이 생산되고 있다. 한편 천문연구원은 2015년 10월부터 유럽의 EISCAT 관측 프로그램에 참여하고 있다. 우주환경 서비스의 경우에는 국립전파연구원과 기상청에서 각각 국내서비스를 위한 프로젝트들을 진행하고 있다. 지자기 관측의 경우 국립전파연구소와 한국지질자원연구원에서 독립적으로 수행하고 있다. 전리권/고층대기 관측으로는 국립전파연구소의 이오노존데 관측과 극지연구소의 전천카메라 및 간섭계를 이용한 남북극 고층대기 관측이 수행되어 오고 있다. 극지연구소는 천문연구원과 공동으로 2015년 12월에 남극장보고기지에 우주환경관측기(GPS 신틸레이션 관측기, 전천 카메라)를 구축하여 운영 중이다.
- 사. 산업계에서는 (주)에스.이.랩이 우주환경예보, 전파예보 등 근지구 우주환경에 관련된 소프트웨어 개발 사업을 수행하고 있다.

제 2 절 달 및 태양계 소천체 연구

1. 선진국 동향

가. 국외 정책 동향

(1) 미국

- (가) 新 국가우주정책(' 10. 6.)을 기반으로 우주협력의 전략적 확대
- (나) 우주공간과 연계된 책임있는 행동 보장, 미국의 우주 인프라 활용확대, 우주자원의 비용과 위험 분담을 통한 효율적인 공유 및 활용 촉진 등
- (다) 우주선진국들과 유인·무인 우주탐사를 위한 공동 노력 추진: 우리나라를 포함하여 세계 14개국이 참여하는 국제우주탐사조정그룹을 통해 국제우주탐사전략(' 07) 및 글로벌탐사로드맵(' 11) 공동 수립
- (라) 지구근접물체(소행성 등), 달, 화성 탐사를 위한 전략 로드맵 수립

(2) 유럽

- (가) 오로라 계획에 의한 유인·무인 태양계 탐사 계획은 2025년까지 화성에 유인 우주선을 착륙시키고, 2033년까지 태양계의 모든 위성에 유인 우주선을 보낸다는 것이 목표임
- (나) 프랑스, 독일, 이탈리아 등 유럽 17개국은 수요 기반의 확장된 우주정책의 필요성에 따른 우주탐사를 계획
- (다) 유럽우주항공국(ESA) 주도하에 우주환경 관측 위성 운용 및 국제간 우주환경 분야 공동 연구

(3) 일본

- (가) 「우주기본법」 제정(' 08)과 우주기본계획 수립(' 09)을 통해 체계적인 우주개발 기반 마련
- (나) 소행성 탐사와 같은 세계 정상수준의 성과를 내고 있는 우주과학/기술 분야에서는 더욱 기술개발에 정진하여 높은 수준의 경쟁력을 유지할 수 있도록 노력
- (다) 우주과학을 위한 선도적 연구개발 지속 계획: 소형탐사 후속선(Hayabusa-2/ ' 14년), 수성 탐사선(BepiColombo/ ' 15년, 유럽공동), 우주태양광 발전 등

(4) 중국

- 단계별 달탐사 지속 및 화성탐사 착수: 달 착륙선(Chang'e 3-4호/ ' 13년, ' 15년) 및 달 표본채취·귀환선(5호/ ' 17)

(5) 인도

- 달 탐사 후속선 및 화성 탐사선 구축 추진: 화성탐사선(Mangalyaan/ ' 13), 달 착륙선 (Chandrayaan-2/ ' 15)

나. 국외 연구 동향

- 최근 유럽, 일본, 중국, 인도 등 연이은 달 및 소행성 탐사선 임무에 따라 관측자료가 증가하고 있으며, 국내에서는 2013년 미래창조과학부 주도로 '한국형 달 탐사' 사업을 추진 중임.
- 편광관측은 대기가 없는 천체의 표면을 연구하는 강력한 도구로, 달 표토의 입자크기를 추정할 수 있으며(Shkuratov, 1981; Dollfus, 1998; Shevchenko and Skobeleva, 1995), 표토 상태를 추정하는 좋은 정보로 활용(Pieters et al., 2000, Korokhin and Velikodsky, 2005 Shkuatov et al., 2008).
- 또 편광자료 분석은 달에만 국한된 것이 아니라 대기가 없는 태양계 소천체의 분류 (Zellner and Gradie, 1976; Bowell et al., 1978; Chernova, Kiselev and Jockers, 1993) 와 표면연구에 기초자료로 활용.

- 2017년 1월 현재, 15,000개가 넘는 NEA가 발견됐지만, 그 물리적 특성이 밝혀진 것은 극히 일부에 불과함. 자전주기가 알려진 것은 6%, 자전주기와 B-V 색지수를 동시에 아는 것은 1% 미만에 불과함.
- NEA 물리적 특성 연구의 필요성이 지속적으로 제기된 것은 이 때문. 특성을 파악하는 데는 가시광/IR 측광, 분광, 편광, 운석 분석, 도플러 레이더 외에 직접탐사 등 다양한 방법이 있음.
- 소행성대에는 목성의 공전주기와 정수배를 이루는, 역학적으로 불안정한 지역이 있는데, 이를 커크우드 간극(Kirkwood Gaps)이라 함. 소행성들이 태양복사와 같은 비 중력적인 힘(non-gravitational force)에 의해 궤도가 변해 커크우드 간극에 진입하면서 근 지구공간으로 유입되거나 목성궤도 밖으로 튕겨져 나감
- 소행성 궤도진화 이론과 시뮬레이션을 통해서만 이뤄졌고 관측으로 증명된 사례는 거의 없음. 게다가 주로 늙은 종족에 대해서만 측광연구가 이뤄짐

2. 국내 동향

가. 국내 정책 동향

- (1) 박근혜 정부는 ‘국민행복, 희망의 새 시대’라는 국정비전을 달성하기 위해 발사체, 인공위성, 달 탐사 등 최첨단 집약기술인 우주기술의 자립을 통해 안전하고 행복한 국민의 삶 구현을 목표로 한국형 발사체를 활용하여, 달 궤도선과 달 착륙선을 2020년에 자력 발사하겠다는 목표를 수립함. 또한 우주 국제협력 강화로 우주개발 촉진 및 국가 위상제고라는 계획 하에 대상국 수준과 특성을 분석하여 협력을 다변화하고, 높아진 우주 개발 역량에 걸맞는 국제사회에서의 역할을 강화할 것을 주요 내용으로 함
- (2) 이에 발맞추어 제3차 과학기술기본계획은 혁신적·도전적 연구강화와 기초연구 성과의 질적 제고, 성과의 사회적 활용·확산을 목적으로 창의적 기초연구 진흥을 목표로 함. 또한 출연(연) 협동·융합연구 예산을 ’13년 8%에서 ’17년 15%로 확대하고, 세계적 석학 유치, 해외 자문위원 초빙 등으로 출연(연) 글로벌화를 추진하여 개방과 융합연구를 촉진함
- (3) 우주개발중장기계획은 독자적 우주개발 능력강화를 통한 국가위상 제고 및 국가경제발전에 기여하기 위한 전략과제로 창의적이고 선도적인 우주과학(지구이온충 연구, 우주 관측, 태양관측 등) 연구를 통해 우주기초 연구역량 강화하여 우주탐사 전개 추진
 - 국제협력 기반의 시험용 달 궤도선 개발(’17년) 및 한국형발사체를 이용한 달 궤도선, 달 착륙선 자력발사(’20년)를 통해 우주탐사 실현 : 달 탐사 출연(연) 협력협의회 구성·운영을 통한 무인 달 착륙계획 참여
 - 우주망원경개발 등 우주환경 관측시스템 개발 및 국제 프로그램 참여를 통해 창의적 우주과학 연구 추진: 우주환경 변화로부터 위성·항공·통신 등 국가 우주자산을 보호하기 위한 태양위험 감시 연구, 지구 이온충 및 자기권 연구 수행(’20)

나. 국외 연구 동향

- KMTNet 3개 관측소, 자동관측 스케줄러, 전용 자료처리 파이프라인을 이용, 근지구소행성(Near Earth Asteroids, NEAs)의 자전과 표면물질 특성을 조사하고 있음.
- 국내외 1m급 관측시설을 효율적으로 활용해 밥티스티나 종족(Baptistina Asteroid Family, BAF) 소행성에 대한 시계열 측광관측과 분석을 수행하고 있음
- 미국 시에라 원격천문대(Sierra Remote Observatory, SRO)를 이용해 달 전면을 대상으로 정밀 편광지도를 작성하고 이를 분석, 달 과학 탐재체 개발에 활용하는 연구를 수행 중임

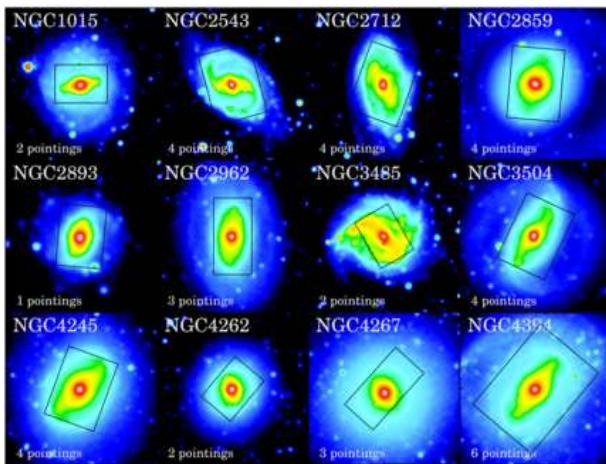
제 3 절 우주용 소형 적외선탑재체 개발

1. 선진국 동향

국제적인 우주망원경 개발은 지상에서 관측이 어려운 과장대인 고에너지, 자외선, 적외선에 집중되어 있으며, 이중에서 본 과제와 연관 분야인 적외선 우주망원경과 이를 활용한 연관 연구 과제들을 위주로 기술하였다.

가. 미국 NASA

미국 NASA에서는 2006년 적외선 우주망원경 Spitzer를 개발하고 5.5년동안 중적외선/원적외선 기기를 운영하기 위한 “cool mission” 을 수행하였으며, 2009년부터는 중적외선 기기만을 운용하는 “warm mission” 을 진행 중에 있다. 중적외선과 원적외선에서의 이미징과 분광을 통한 적외선 은하들과 별생성 지역에 대한 이해를 높였으며, 오랜 기간 동안의 미션 운영은 태양계 천체들을 포함한 다양한 천체들 및 가까운 은하들에 대한 광역 탐사가 가능하게 하였다. 특히, Spitzer는 예산 문제로 계속 운영 여부가 불투명한 면이 있지만, 아직 미션을 운영 중에 있기 때문에 후속 혹은 진행 중인 미션들과의 시너지를 위해 관측 계획을 최적화하고 있다.



< Spitzer의 Warm mission으로 이루어지고 있는 가까운 은하들에 대한 Spitzer Survey of Stellar Structure in Galaxies (S4G) (Sheth et al. 2010) 탐사 예 >

JWST(James Webb Space Telescope)는 주경 6.5m의 대형 적외선 우주망원경으로 미국 NASA 주도로 유럽 ESA와 캐나다 CSA와 함께 공동 개발으로 2018년 발사 예정이다 (Greenhouse L. 2014). 기본 관측 계획은 5년이며, 10년 관측을 예상하고 있다. 주요 기기로는 $0.6 \sim 5 \mu\text{m}$ 에서 영상과 그리즘 분광기능을 가진 NIRCam, 저분산 ~ 중분산 분광기능과 다중 편광을 위한 IFU 기능을 가진 NIRSpec, $5 \sim 28.5 \mu\text{m}$ 중적외선에서 분광과 IFU 기능을 가진 MIRI와 근적외선 그리즘 분광에 최적화되었으며 외계행성 탐사를 위한 코로나그래프 기능을 탑재한 NIRSS 등이 있다. JWST의 긴 파장범위와 높은 감도는 초기 우주의 재이온화 시기에 은하들의 역할을 제고함과 더불어 초기 은하의 특성 연구에 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 현재 초기 관측 계획을 세우고 있으며, 이는 많이 관측된 community field로 UDF/GOODS-S/CDF-S를 관측하여 빠른 시간내로 공개를 통해 사이언스 활용을 극대화 할 계획이다.

WFIRST 프로젝트는 미국 국립과학학술원에서 조사하는 향후 10년간의 거대 연구 프로젝트 우선순위 보고서에서 최우선 순위에 올라있는 적외선 우주망원경 미션이다. WFIRST는 기존 허블 우주망원경의 성능으로 수천평방도에 이르는 광활한 영역에 대한 탐사를 계획하고 있다. WFIRST에 쓰이는 망원경은 기존에 우주에서의 지상 정찰 위성으로 쓰기 위해 개발된

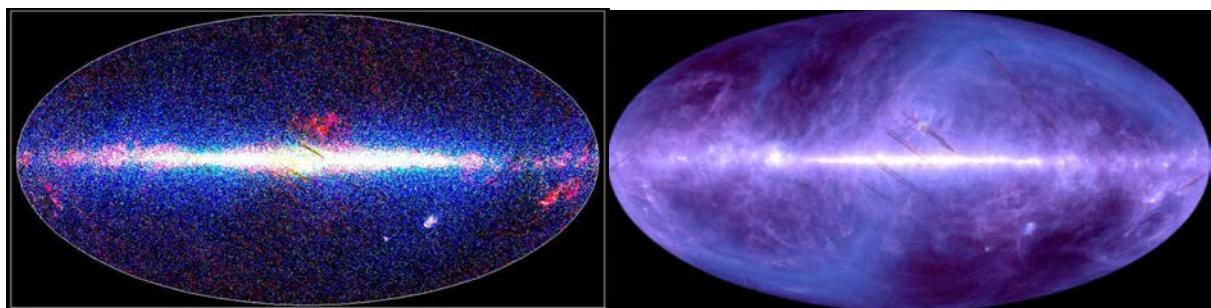
것으로, 이미 사용되고 남은 허블 우주망원경과 같은 크기로 2기의 망원경으로 보완을 통해 우주관측용으로 활용할 계획이다. WFIRST의 주요 관측기기로 나사 제트추진연구소 (JPL)내의 팀에서 이끄는 행성의 특성을 관측하기 위한 코로나그래프 기기 (coronagraph)와 나사 고다드 우주비행센터 (GSFC)내의 팀에서 이끄는 광역 영상/분광 탐사를 위한 광역영상기기 (Wide Field Instrument, WFI)가 있다. 이러한 관측기기로부터의 광역 탐사 관측을 통해 우주의 가속팽창을 이끄는 암흑에너지의 성질을 결정하고, 행성계의 통계적인 조사를 수행할 계획이다. 특성상 많은 예산 (전체 예산규모: 약 1조원)과 인력이 투입되어야 하기 때문에, WFIRST는 미국의 독자적인 개발이 아닌 국제 협력을 통해 기기 개발과 과학 관측 프로그램을 운영할 계획이다. 이에 따라, 유럽 국가들과 캐나다, 일본, 한국 등과의 협력 방안에 대해 논의 중에 있다.



< NASA 대형 미션인 JWST (좌)와 WFIRST (우) 프로젝트 우주망원경 상상도 >

나. 일본 ISAS/JAXA

일본 ISAS/JAXA에서는 적외선 우주망원경 AKARI (ASTRO-F)를 발사 및 운용하여 중적외선, 원적외선에서 IRAS 이후 두 번째로 전체 하늘에 대한 탐사를 완료하였고, 근/중/원적외선의 다양하며 연속적인 적외선 파장에서의 관측은 정밀한 분광관측이 없이도 적외선 은하들에 특성을 파악하는데 유리하여, 전천 탐사를 통해 얻은 점광원 목록과 전천 이미지를 공개하여 현재에도 다양한 후속 관측 자료로 활용되고 있다.



< AKARI 전천 점광원 목록 (좌)와 원적외선 전천탐사 이미지 (우) >

SPICA는 일본 ISAS/JAXA 주도로 국제협력에 의해 추진되고 있는 차세대 대형 적외선 우주망원경이다 (Nakagawa et al. 2014). 3m급의 주경을 가지고 있으며, 망원경을 5K까지 냉각하여 중적외선과 원적외선 영역에서 기존 적외선 우주망원경에 비해 최고의 감도를 가질 것으로 예상되며, 탑재기기 개발과 테스트 완료 후 발사는 2022년으로 계획되어 있다. 은하, 별, 행성, 지구와 생명체의 기원과 진화의 이해와 같은 우주과학 분야에서의 큰 이슈들을 해결하는 것을 목표하고 있다. SPICA는 3m급의 대형 우주망원경 프로젝트이기 때문에, 큰 예산과 인력이 소요되어 국제 협력으로 추진 중이며 주요 파트너로 ESA (European Space Agency)와의 협력을 계획하고 있다. 유럽에서도 Cosmic Vision에 따라 일본에서의 결정 이후에 최종

승인이 이루어질 것으로 예상된다. 일본은 중적외선 기기 개발과 발사체를, 유럽 ESA는 주경 제작, 지상국 지원 및 원적외선 기기 개발을 제안 중이다.

HiZ-GUNDAM (High-z Gamma-ray bursts for Unraveling the Dark Ages Mission) 프로젝트는 일본 ISAS/JAXA의 중형 미션으로 제안되고 있는 프로젝트로 주요 과학임무는 감마선 폭발 천체들 (GRB)의 관측을 통해 초기 우주를 탐사하는 것을 목표로 하고 있다 (Yonetoku et al. 2014). 고 적색이동에 있는 먼 우주의 감마선폭발에 대한 관측은 초기 우주를 이해하는데 매우 중요하다. 아울러, 감마선폭발이 일어난 이후에 빠른 후속 관측을 통해 천체에 대한 특성을 파악해야 하며, 이를 위해 감마선 검출기와 함께 근적외선 우주망원경이 같이 실릴 예정이다. 근적외선 망원경의 경우, 비축 광학계 설계로 되어 있어 기존 NISS 광학계 개발 경험에 있는 천문연과의 국제 협력을 희망하고 있다.

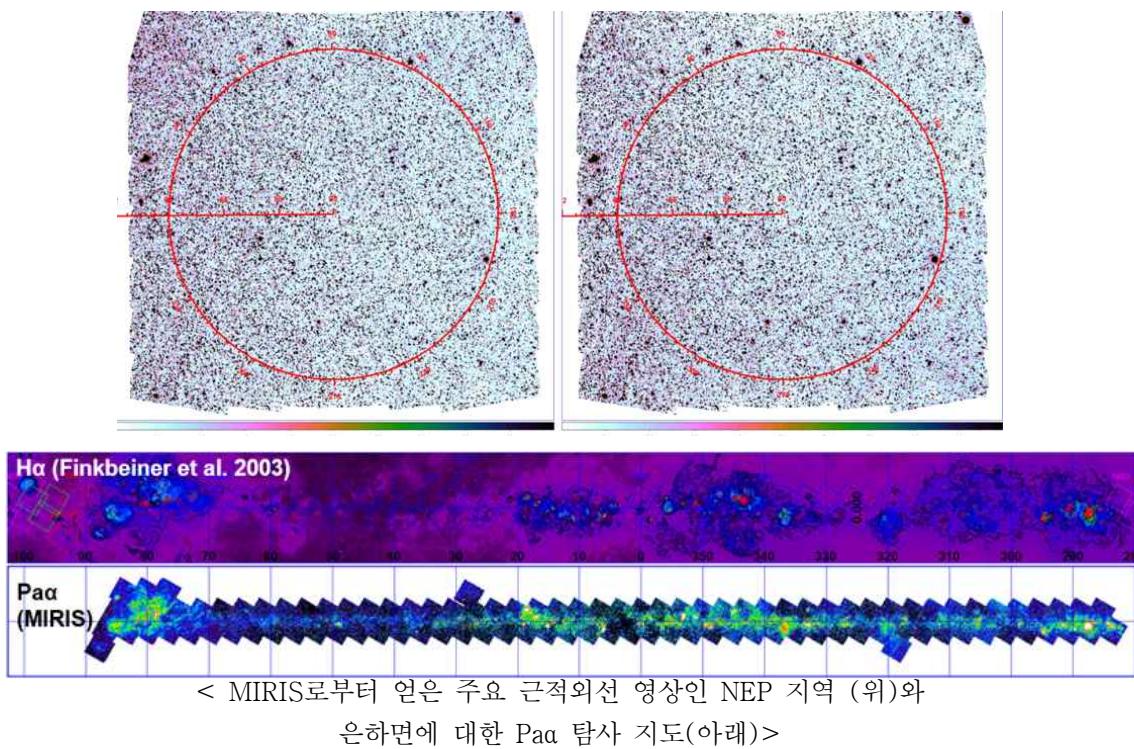
다. 유럽 ESA

유럽 ESA에서는 1m 이하급 적외선 우주망원경 ISO를 개발하고 운용하였으며, 밝은 적외선을 방출하는 은하들에 대한 관측을 통해 은하 내에서 차가운 더스트들의 성분들을 처음으로 발견하였다. 또한, 혜성과 같은 태양계 천체들에 대한 분광 관측으로 행성계 천체들의 생성, 물과 같은 화학적인 성분, 그 역학적인 성질들을 밝혀내는데 기여하였다. 이러한 과학적 성과를 바탕으로 3m급의 대형 적외선 우주망원경 Herschel을 개발/운용하여 차가운 더스트를 가진 높은 적색이동에 있는 서브밀리 은하들의 성질을 밝혀냈으며, 3.5m 단일경을 우주에서 처음으로 운용하여 대형 적외선 우주망원경 분야를 선도하는데 기여하였다. 한편 2015~2025년도 차세대 우주과학에 대한 계획 수립을 위한 'Cosmic Vision'을 만들고 있는데, 'EUCLID' 프로젝트가 선정되어 개발이 진행 중에 있으며 (Laureijs et al. 2014), 암흑에너지를 찾고 우주초기의 가속팽창을 연구하는 주요 목적을 가지고 있다.

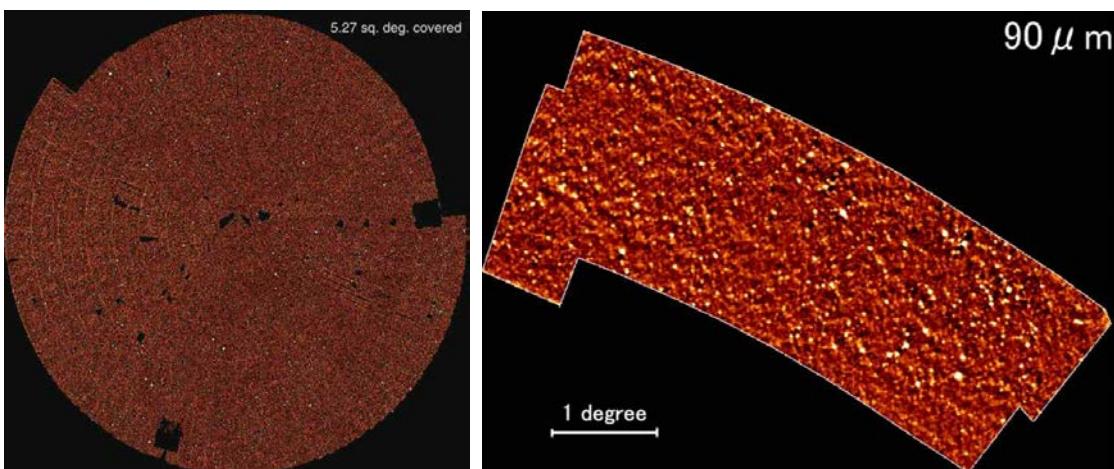
2. 국내 동향

국내 우주망원경 개발은 국제협력을 통한 소규모 프로젝트들 위주로 이루어졌는데, 대표적인 것으로는 과학기술위성 시리즈에서의 과학 탑재체 개발이 있다. 과학기술위성 개발 프로젝트로 3기의 위성을 제작/발사하였으며, 이중 천문연은 1호와 3호의 탑재체를 개발하였다.

이중, 과학기술위성 3호 주탑재체는 적외선 파장대를 채택하였다 (Han et al. 2014). 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 중에 있다. MIRIS 개발을 통해 적외선 굴절 광학계에 대한 설계 및 해석, 적외선 관측을 위한 열설계 및 해석, 궤도 해석, 광기계부에 대한 구조해석, 적외선 광학계에 대한 검교정 등의 기술을 얻을 수 있었다. 현재 정밀한 자료처리를 마무리하고, 주요 과학 목적을 달성하기 위한 연구가 진행 중에 있다.



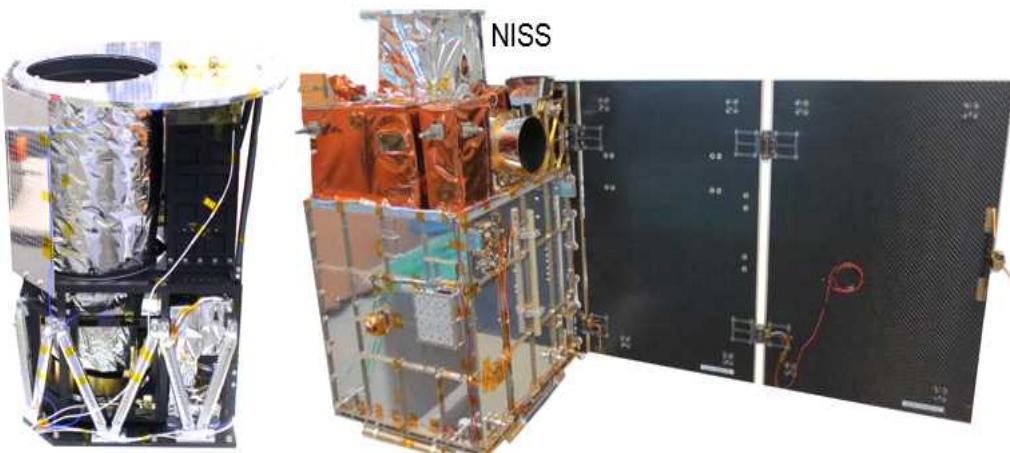
2000년부터는 적외선우주망원경으로 AKARI 프로젝트의 자료처리 파이프라인 구축에 참여하여, 성공적인 발사 이후에는 일본측과 국제 공동연구를 통해 과학적인 성과를 창출하였다. 일본 AKARI 적외선 우주망원경에 대해 한국에서 참여한 이후, 국내 천문학 커뮤니티에서도 국제적으로 공개되어 있는 적외선 우주망원경 관측 카탈로그 및 영상 자료를 활용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 아울러 적외선 은하를 연구하기 위해 계획된 두 개의 딥필드(황도남극 및 황도북극) 자료도 이후 Herschel, JCMT/SCUBA-2 등 여러 다파장 관측이 우주/지상을 통해 이루어져, 여러 다양한 추가 연구를 진행 중에 있다.



< AKARI 딥필드인 황도북극 (좌)와 황도남극 (우) 관측 이미지 >

과학기술위성 시리즈 이후에는 2012년부터는 차세대 소형위성 시리즈가 시작되었으며, 현재 1호의 개발이 진행 중에 있는데, 적외선 영상카메라인 MIRIS 후속으로 차세대 소형위성 1호 탑재체로 근적외선 영상분광기 NISS를 개발 중에 있다. NISS는 저분산이지만 적외선 영상 분광 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 하고 있다. NISS는 근적 외선 영역에서 영상과 분광을 동시에 획득하는 영상분광기로 제안, 개발되고 있다. 파장범위는 근적외선 대부분을 포함하는 $0.9 \sim 3.8 \mu\text{m}$, 파장분해능은 저분산으로 $\lambda/\Delta\lambda \sim 20$ 정도이며, 전체 시야는 $2\text{도} \times 2\text{도}$ 로 4평방도를 관측할 수 있다. 주경은 15cm이고, 비축 광학계 설계로 부경을 통한 광손실을 최소화하여 최대한의 감도를 확보하려고 노력하였다. 또한, 저분산 분광을 구현하기 위해 Linear Variable Filter (LVF)라는 선형분광필터를 적용하였다 (Jeong et al. 2014). 기존 MIRIS에 비해 주경의 크기가 커지고 저잡음 센서를 사용하기 때문에, 영상분광을 수행함에도 불구하고 NISS는 MIRIS의 광대역 필터 관측과 비슷한 감도를 보일 것으로 예측된다. 주요 과학임무는 먼 우주에서의 흔적인 근적외선 우주배경복사 연구와 가까운 우주에서의 별생성 활동 연구가 있다. NISS는 개념 설계 및 상세 설계를 완료하고 시험인증모델을 개발하였으며, 이를 보완하여 비행모델을 개발할 계획이다. NISS 비행모델은 차세대 소형 위성 1호에 조립되고 최종 위성 시험을 통해 2017년에 발사 예정이다.



< NISS 시험인증모델(좌)과 차세대소형위성 1호에 조립된 모습(우) >

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 태양활동과정 및 근지구 우주공간변화 연구

1. 태양활동과정 연구

(1) 별과 태양의 Soft X선 플레어 간 유사성 연구

: Comparison of damped oscillations in solar and stellar X-ray flares (Astrophysical Journal) 조일현, 조경석, V. M. Nakariakov, 김수진, Pankaj Kumar

태양 플레어는 다양한 과정에서 플레어 발생과정 중, 혹은 발생 직 후에 높은 빈도로 준 주기적 진동 현상(QPP, Quasi-Periodic Pulsation)이 관측된다. 이 중, Soft X선에서 관측되는 QPP는 발생 직 후, 자기 재결합 지점 아래에 형성된 플레어 루프가 급작스럽게 가열, 혹은 코로나물 질방출 과정 중 인접한 루프의 급작스러운 장력 풀림에 의해 나타나는 루프의 고유 진동으로 알려져 있다. 플레어 루프와 인접한 코로나 루프의 진동은 각각 종파와 횡파로 관측된다. 이들은 모두 감쇄진동 하는 것으로 알려져 있다. 한편, 가시광선으로 관측되는 별 플레어 역시 높은 빈도로 플레어 발생 직 후, 감쇄진동이 관측된다. 별 플레어와 태양 플레어는 동일한 기작과 유사한 자기구조 하에서 발생할 것으로 추측되고 있으나 아직까지 가시광선 영역에서 태양 플레어의 QPP는 보고된 바가 없고 직접적인 비교가 제한적이다. QPP분석을 통해 직접 관측할 수 없는 코로나 루프의 물리량들을 추정할 수 있고 이는 동일한 기작에 의한 천문학적 현상에도 응용 가능성이 매우 높다. 본 연구를 통해 두 개의 X선 전용 관측위성(RHESS, XMM Newton Observatory)이 관측한 태양 및 별 플레어의 진동주기와 감쇄주기를 측정하여 두 물리량의 비가 동일하고 두 물리량이 선형관계임을 발견하였다(그림 1). 이 선형관계는 태양 플레어 루프의 종파 및 인접한 루프의 횡파에서 측정된 진동주기 및 감쇄주기의 관계와 일치한다. 이는 별 플레어의 QPP는 태양 플레어의 QPP발생 기작과 매우 비슷하다는 것을 시사한다.

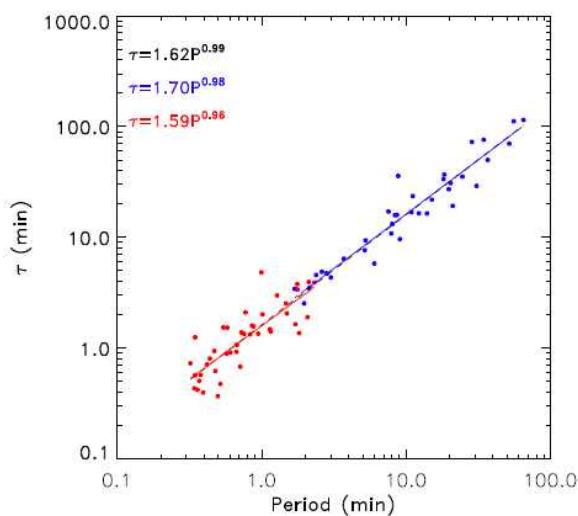


그림 1. 별(청색)과 태양(적색) 플레어 QPP의 진동주기(P) 및 감쇄주기(τ) 간 선형관계

(2) Hard X-Ray, 전파, 극자외선 파장에서의 준주기적인 주기 관측

: OBSERVATION OF A QUASIPERIODIC PULSATION IN HARD X-RAY, RADIO, AND EXTREME-ULTRAVIOLET WAVELENGTHS (The Astrophysical Journal), Pankaj Kumar, Valery M. Nakariakov, 조경석

2011년 9월 23-24일 동안 발생한 M1.9급 플레어를 경질 X-선 (HXR), 전파 및 극자외 자료를 활용하여 다파장 관측하였으며, 특히 플레어 발생과 연관되어 나타난 준 주기적 진동 현상 (QPP, Quasi-Periodic Pulsation) 특성을 분석하였다. RHESSI로 관측한 HXR 자료 중 25-50keV 에너지 대역에서 전반적으로 플럭스가 떨어지는 경향성을 띠는 가운데 5개의 피크가 약 3분의 주기성을 갖고 갑자기 튀는 현상을 발견하였으며, 이와 비슷한 QPP 현상이 노베야마 전파 자료 중 2, 3.75, 9.4, 17GHz 주파수 대역에서도 관측되었다. 동시에, SDO/AIA, Hinode/SOT 및 STEREO/SECCHI의 극자외 영상 자료에서는 플레어 현상과 관련하여 준-원형의 플레어 리본이 관측되어 플레어 발생이 소위 말하는 fan-spine 자기장 모델에서의 3차원 null-point reconnection 과 깊이 연관되어 있을 것이라는 추정이 가능하다. 플레어 폭발 전에 fan 형태의 코로나 루프 구조물 아래쪽에 작은 필라멘트가 위치해 있었으며, 이후 필라멘트가 서서히 떠올라 주변의 코로나 루프와 충돌하면서 필라멘트 자기장의 트위스트가 빠져나가는 untwisting motion을 보였으며, 그 회전 주기가 약 3분에 해당하는 것을 발견하였다. 이와 같은 일련의 관측을 근거로 우리는 관측된 QPP의 발생 기작으로서 주변 흑점의 3분주기 파동이나 관측된 필라멘트의 3분주기 회전운동에 의한 영향으로 주기적으로 일어난 null-point reconnection을 제안한다.

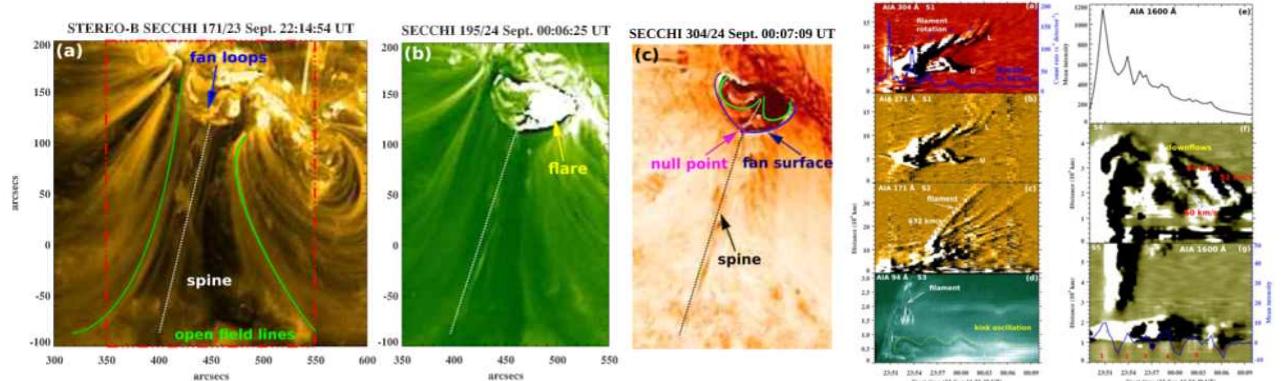


그림 2. 왼쪽: STEREO-B SECCHI 관측 영상 (171, 195, 304Å). 관측된 플레어 및 준-원형의 플레어 리본이 보이고, 이를 설명할 수 있는 fan-spine 자기모델을 표시하였음. 오른쪽: (a)-(d) 슬라이스 S1, S2, S3를 따라 AIA 304, 171, 94Å에서 구한 time-distance 도표. (a)-(c)는 running difference 자료를 사용하였으며, (d)는 측광자료 원본을 사용하였음. 파란 선은 RHESSI의 HXR 자료 중 25-50 keV 에너지대역을 함께 표현하였음. (e) AIA 1600Å 자료에서 추출한 평균 밝기 그래프. (f)-(g) AIA1600Å의 running difference 자료를 사용하여 슬라이스 S4와 S5를 따라 구한 time-distance 도표. (g)의 파란 선은 붉은 점선을 따라 구한 밝기 변화 그래프를 덧그린 것임.

(3) 제트 분출을 동반한 플레어 연속 폭발에 꼬인 자기장의 유입이 미치는 영향 연구
: OBSERVATIONS OF A SERIES OF FLARES AND ASSOCIATED JET-LIKE ERUPTIONS
DRIVEN BY THE EMERGENCE OF TWISTED MAGNETIC FIELDS (The Astrophysical Journal),
임은경, Vasyl Yurchyshyn, 박성홍, 김수진, 조경석, Pankaj Kumar

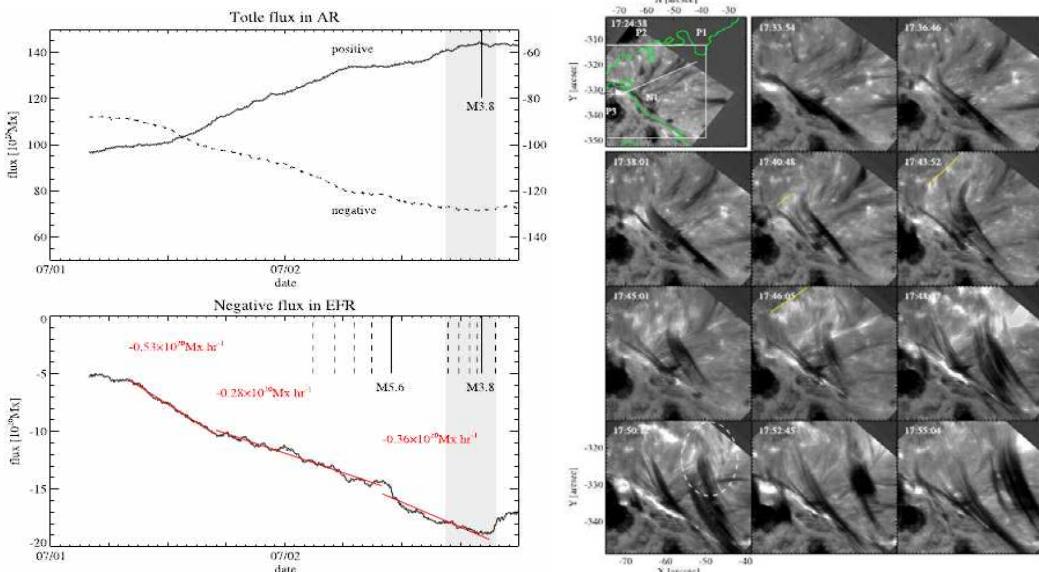


그림 3. 왼쪽: 활동지역 11515의 플레이어 발생 지역에서 측정된 2일간의 플럭스 변화 및 관측된 플레이어의 발생 시각. 오른쪽: C3.7 플레이어 발생에 동반된 제트의 시간 변화 영상. NST의 H α -0.7Å 관측 자료.

미국 빅베어 천문대의 New Solar Telescope(NST)으로 2012년 7월 2일 활동영역 11515를 관측하였으며, 해당 활동지역에서 약 1시간 간격으로 4차례의 C급 플레이어가 발생하고 이어서 바로 CME 분출을 동반한 M3.8급 플레이어가 발생하였다. NST의 고분해능 H α 자료와 SDO의 AIA 다파장 EUV 자료를 활용하여 분석한 결과 4차례의 C급 플레이어들은 CME 분출을 동반하지는 않았으나 모두 제트 분출을 보였으며, 그 형태적 특성에 따라 blowout jet으로 분류하였다. 즉, 역-Y 형태의 플라즈마 분출이 작은 섬광과 함께 먼저 보인 후 섬광 반대쪽의 제트 줄기가 섬광에서 멀어지는 방향으로 이동하였으며, 특히 이동 시 제트줄기가 단일하지 않고 둘 이상의 미세구조를 형성하여 마치 커튼과 같은 형태를 보인다는 특징이 있었다. 뿐만 아니라, 관측된 제트는 여러 가닥의 줄기가 서로 겹쳐 꼬여있는 형태를 보였다. 특히 CME를 동반한 M급 플레이어 발생 시 관측된 제트는 뚜렷한 negative twist를 갖는 꼬인 구조를 보였다. 플레이어 발생 1일 전 해당 활동지역에서의 자기장 변화를 분석한 결과 전반적으로 +자기 극성을 띤 지역에 -극성의 자속이 급격히 유입하기 시작했으며, 이와 함께 해당 지역에서의 -극성의 자기나선도 (magnetic helicity) 값이 지속적으로 증가하는 것을 확인하였다. 2일간의 총 자기나선도 유입량은 약 -5×10^{42} Mx 2 로 이는 약 2개의 CME 분출을 설명하기에 충분한 양의 에너지에 해당하는 것이다. 위의 결과는 상당히 높은 꼬임을 갖는 자속의 지속적 유입에 의해 해당 지역에 높은 자기에너지가 축적될 수 있었으며, 유입된 자기장과 기존 활동지역 자기장 사이의 interchange reconnection에 의해 blowout jet이 발생한다는 Moore et al. (2010)의 시나리오를 뒷받침한다.

(4) 태양 전면에서 발생한 306개 CME의 2차원 및 3차원 인자 비교 연구

: Comparison between 2D and 3D Parameters of 306 Front-side Halo CMEs from 2009 to 2013 (Astrophysical Journal) 장수정, 문용재, 김록순, 이하림, 조경석

본 연구에서는 2009년부터 2013년까지 태양 전면에서 발생한 306개 CME를 조사하여 2차원 인자와 3차원 인자를 비교하는 연구를 진행하였다. 이 CME는 SOHO와 STEREO에서 동시에 관측되었으며 지구에 영향을 미칠 가능성이 원형 CME(각폭 120도 이상)만을 이용하였다. CME 2차원 인자(속도, 각폭, 발생방향)는 단일 위성으로 관측되었기 때문에 투영효과가 있으며, LASCO CME 카탈로그와 NGDC 플레이어 카탈로그에서 가져왔다. 또한 우리는 다중 관측 자료를 기반으로 StereoCAT을 이용하여 CME 3차원 인자를 계산 하였다. 본 연구 결과 CME 2차원 속도는 3차원 속도에 비해 약 20% 과소평가되는 것을 알아냈으며, 3차원 각폭의 범위는 30에서 158도로 평균이 225도인 2차원 각폭보다 상당히 작은 값을 가지는 것을 알아냈다. 또한, 2차원과 3차원 각폭의 비가 태양 중심에서 멀어질수록 작아지는 것을 보였다. 각폭과 속도의 관계식은 2차원 인자를 이용해서 구했을 때 보다 3차원 인자를 사용했을 경우 기울기가 증가하는 것을 보였다.

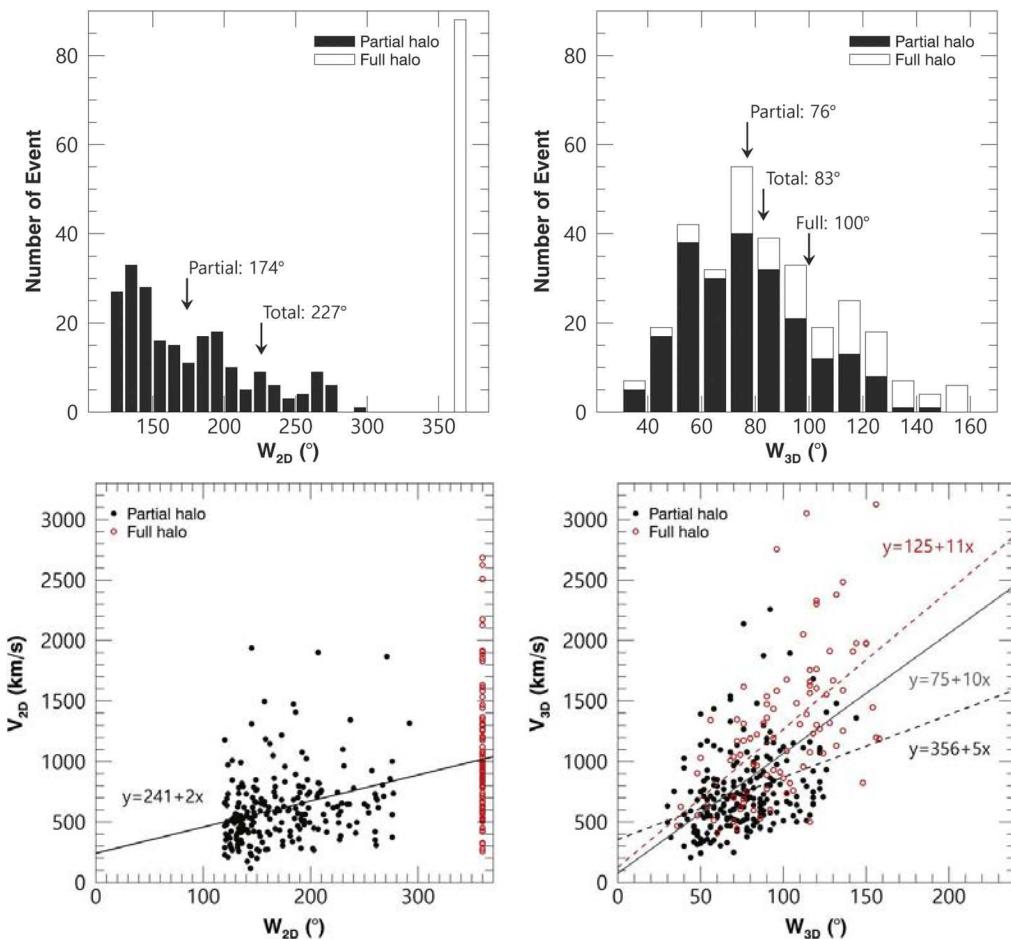


그림 4. 상단패널: CME 2차원(좌)과 3차원(우) 각폭 히스토그램. 검정색 막대는 2차원 각폭이 120도 이상 360도 미만인 경우, 흰색 막대는 360도 인 경우를 나타냄. 하단패널: 2차원(좌) 및 3차원(우) 각폭-속도 관계. 검정색 점은 2차원 각폭이 120도 이상 360도 미만인 경우, 빨간 점은 360도 인 경우를 나타냄. 검정과 빨간색 점선은 각각의 선형 관계선임.

(5) 코로나밀도방출, 태양 Type II 전파 폭발 및 편광 자료를 이용한 코로나 전자밀도 분포연구
: Coronal electron density distributions estimated from CMEs, DH type II radio bursts, and
polarized brightness measurements (J. Geophys. Res. Space Physics) 이재옥, 문용재, 이진이, 이
경선, 김록순

우리는 태양 DH 전파 폭발 유형 II가 CME 앞면에서 발생하는 충격파에 의해서 발생한다는 가정(가정 1)과 CME충격파와 스트리머(streamer) 사이의 상호작용에 의해서 발생한다는 가정(가정 2)을 이용하여 코로나밀도 분포를 연구하였다. 또한 편광 관측을 이용하여 결정한 코로나밀도 분포와 위의 두개의 가정을 통해서 얻은 결과와 비교하였다. 그 결과, 우리는 다음과 같은 특성을 알 수 있었다. 1) 가정 1을 이용하면, 태양반경 3에서 20까지의 코로나밀도 분포는 대략 5배의 사이토 밀도 모델(Saito's density model) 인 것을 확인하였다 (그림 5 (왼쪽) 참고). 2) 가정 2 를 이용하면, 태양반경 3에서 10까지의 코로나밀도 분포는 1.5배의 사이토 밀도 모델인 것을 확인하였다. 3) 편광 관측을 이용하여 결정한 코로나밀도 분포는 가정 1을 이용해서 얻은 값보다는 현저히 낮고, 가정 2를 이용해서 얻은 값과는 유사 하다는 것을 확인하였다.

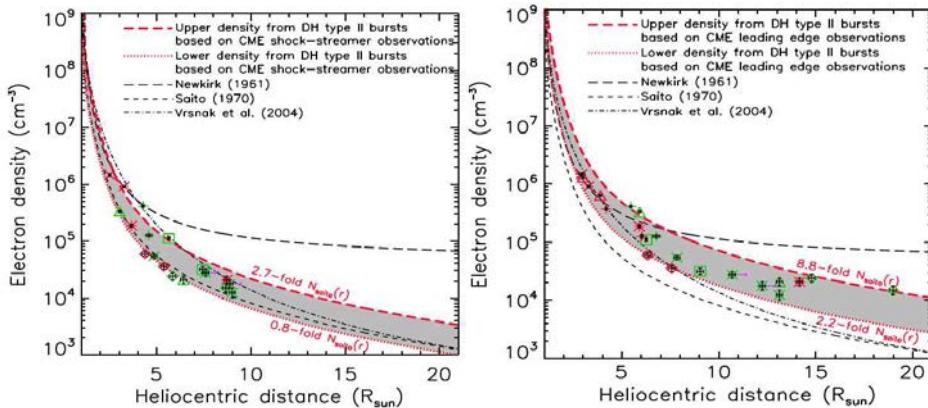


그림 5. 왼쪽: DH Type II가 CME 앞면 충격파에 의해서 발생한다는 가정으로 얻은 코로나 밀도 분포. 오른쪽: CME 충격파와 스트리머 사이의 상호작용에 의해서 발생한다는 가정으로 얻은 코로나 밀도 분포

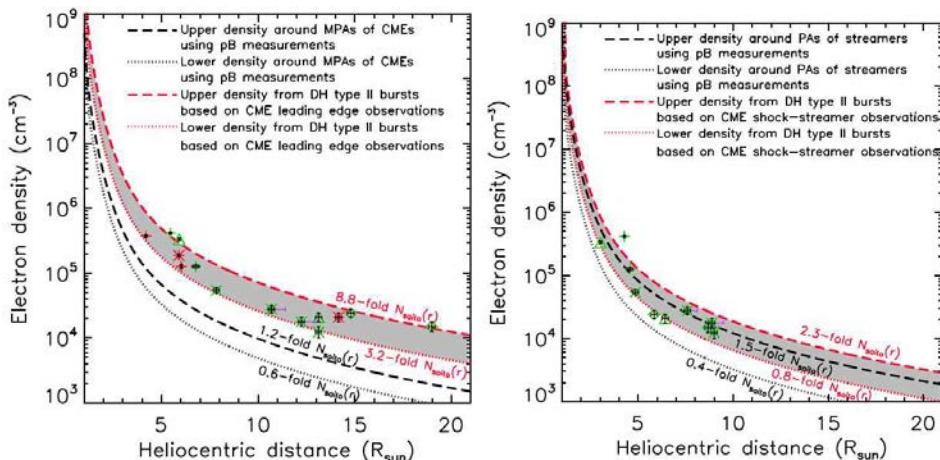


그림 6. 왼쪽: 가정 1로부터 얻은 코로나 밀도와 편광 관측으로부터 얻은 밀도 비교. 오른쪽:
가정 2로부터 얻은 코로나 밀도와 편광 관측으로부터 얻은 밀도 비교

(6) NST 헬륨 10830Å에서 관측된 극협소(ultra-narrow) negative 플레어 프런트 연구

: Ultra-narrow negative flare front observed in Helium-10830Å using the 1.6m New Solar Telescope (The Astrophysical Journal) Yan Xu, Wenda Cao, Mingde Ding, Lucia Kleint, Jiangtao Su, Chang Liu, Haisheng Ji, 채종철, Ju Jing, 조규현, 조경석, Dale Gary, Haimin Wang

태양 플레어는 태양에서 일어나는 섬광이며 관련된 CME나 고에너지 입자는 근지구 환경에 부정적인 영향을 끼친다. 정의에 따르면, 플레어는 대개 과도한 방출에 의한 밝은 구조를 말한다. 빅베어 태양관측소에서 새로 가동을 시작한 1.6m New Solar Telescope의 He I 10830Å에서 협소하지만 명백한 어둡게(dark) 보이는 움직이는 프런트를 가진 negative 플레어를 관측하였다. 이 프런트는 340km 정도로 좁고 H-alpha와 Mg II 라인에서 구별되는 분광특성을 보인다. 이론적으로 He I 10830Å에서 네거티브 콘트라스트는 비열적 전자충돌이나 광이온화 후 전자가 재결합하는 특별한 환경에서 발생할 수 있다. 이번 발견은 이전에는 없었던 고분해능 관측으로 가능하였으며 그러한 플라즈마 환경이 가능하다는 증거이기도 하다. 또한 천체에서 일어나는 에너지 방출과 복사전달의 이해를 위한 독특한 정보를 제공한다.

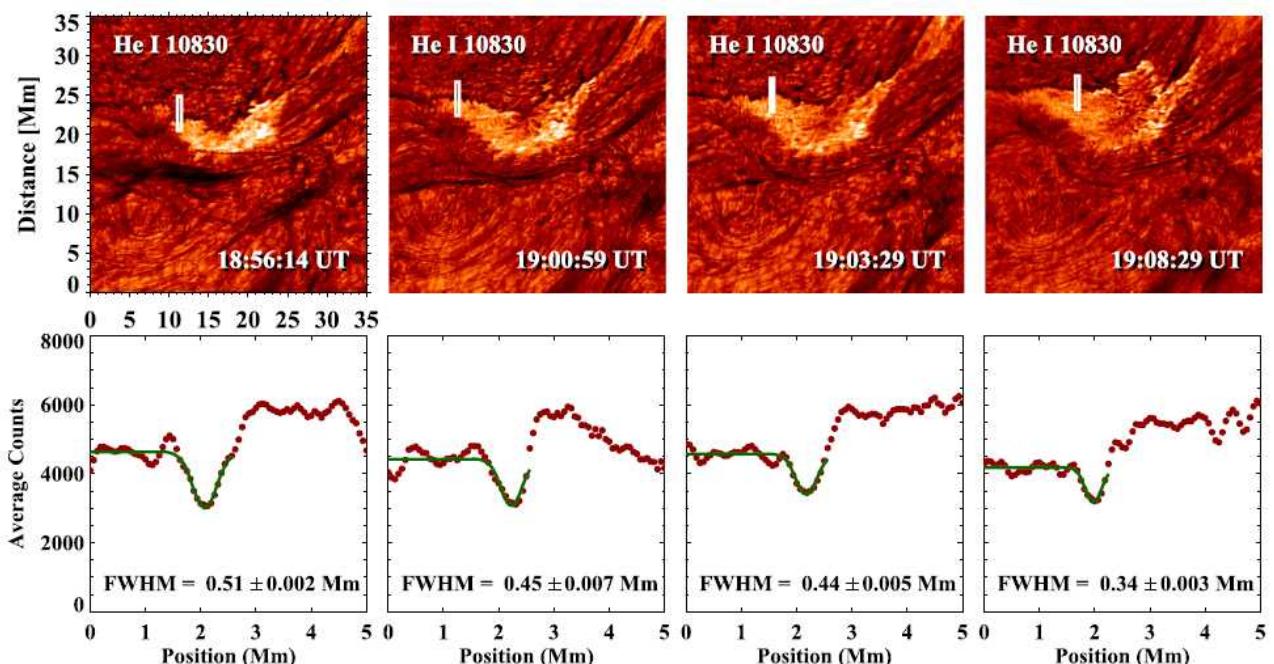


그림 7. He I 10830Å 영상(위)과 영상의 슬릿위치(흰색 박스) 따른 밝기변화(아래). 초록색 선은 가우시안 핏팅의 결과이며 FWHM은 He I 10830에서 관측되는 어두운 플레어 리본의 폭을 나타냄. 핏팅 결과에 따르면 폭은 340~510km 정도임.

(7) 흑점 상층에서 발생한 강한 하강기류에 의해 촉발된 채층의 파동 현상

: Oscillatory response of the solar chromosphere to a strong downflow event above a sunspot
(The Astrophysical Journal Letters) 곽한나, 채종철, 송동욱, 김연한, 임은경, Maria S.
Madjarska

흑점에서 발생한 강한 하강기류에 의해 촉발된 채층의 3분 진동을 빅베어 천문대의 1.6m NST 와 분광관측위성인 IRIS를 이용하여 관측하였음. 강한 하강기류는 흑점 본암 상층부의 채층과 전이층에서 생성되는 분광선을 통해 측정하였으며, 하강기류 직후에 같은 지역에서 파동이 시작되는 것이 관측되었음. 관측된 도플러 속도의 진동 폭은 2km/s 정도였으며, 시간에 따라 점진적으로 감소하는 추세를 보였음. 또한, 진동 주기는 2.7분에서 시작하여 3.3분까지 점진적으로 증가하였음. NST/H α +0.5 Å 와 IRIS/1330 Å의 slit-jaw 동시관측을 통해서 하강기류의 끝 부분 근처에서 일시적인 섬광현상이 일어나는 것을 발견하였으며, 하강기류의 물리적 특성이 흑점 plume과 유사함을 밝혀냈음. 이런 결과는 중력적인 충상구조를 이루는 대기상태에서 일시적인 하강기류가 발생할 때 그에 대한 반응으로서 3분 진동이 발생할 수 있다는 기존의 Chae & Goode의 이론적인 주장을 뒷받침하는 관측 근거에 해당함.

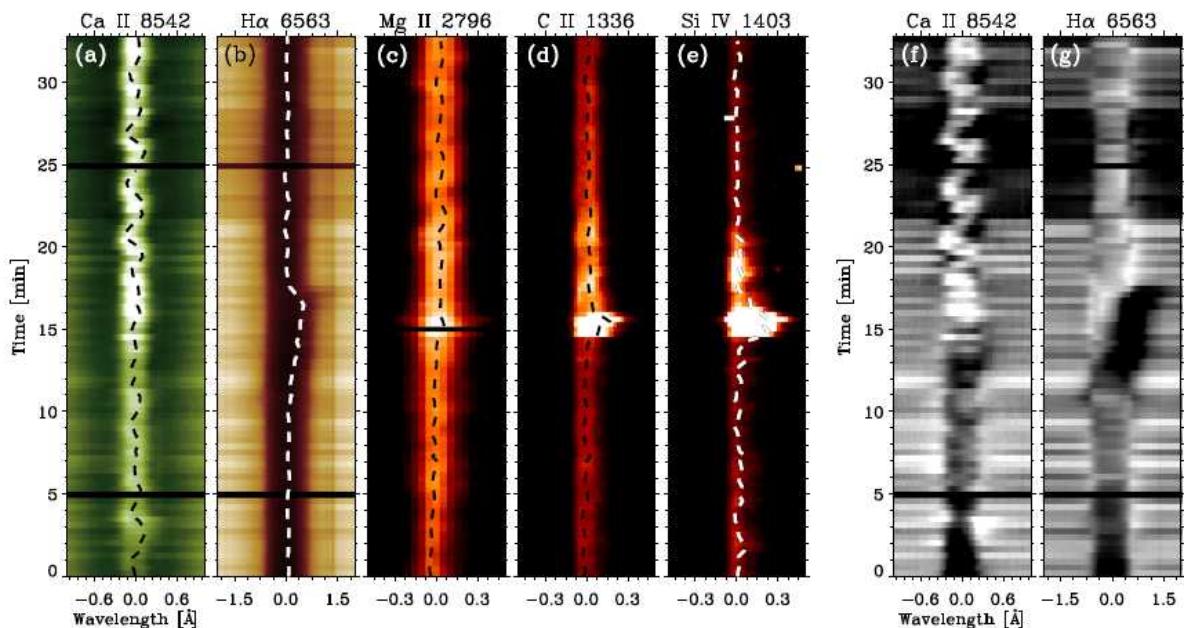


그림 8. (a)-(e) : 흑점 본암 상층부의 강한 하강기류 및 일시적 섬광이 관측된 지점에서 선택된 5개 분광선의 파장-시간 그래프. 점선은 각 선의 중심 위치를 표시하고 있음. (f)-(g): Ca II와 H α intensity contrast의 파장-시간 그래프. 시각 t=0은 17:03:40 UT에 해당함.

(8) 플레어 전조 현상으로서의 강한 H α 청색방향 선폭증대

: Strong blue asymmetry in H α line as a preflare activity (Solar Physics), 조규현, 이정우, 채종철, Haimin Wang, 안광수, 양희수, 임은경, Ram Ajor Maurya

플레어 발생 전에 채층에서 발생하는 여러 현상들은 플레어 발생 기작과 관련하여 중요한 힌트를 제공할 수 있는 반면 현재까지 그다지 활발히 연구되지 못하였음. 최근 빅베어의 1.6미터 NST에 부착된 고속영상태양분광기 (FISS)로 관측한 2011년 09월 29일 18:08UT에 발생한 플레어를 관측하였으며, 고분해능 H α 관측 자료에서 플레어 직전에 이례적으로 빠른 선폭증가를 측정하였음. 해당 선폭증가는 청색방향으로 -4.5Å, 적색방향으로 2.0Å 까지 분포하였으며, cloud 모델을 적용하여 속도로 환산할 경우 -130km/s에서 38km/s까지 이를. 이는 지금까지 보고된 채층에서의 물질 이동 속도와 비교하였을 때 매우 높은 수준에 해당함. H α 청색방향 선폭증대는 약 4분 동안 지속되었으며, 이는 SDO로 관측된 해당 지역에서의 플레어 main phase 기간 동안 발생한 필라멘트 상승 현상과 시간/공간적으로 긴밀히 연관되어 나타났음. 이러한 관측을 근거로 해당 H α 분광선에서 보인 청색방향 선폭증대 현상은 플레어 발생 시작으로서 두 단계 분출 모델(two-step eruption model)의 관측적 증거로 이해됨.

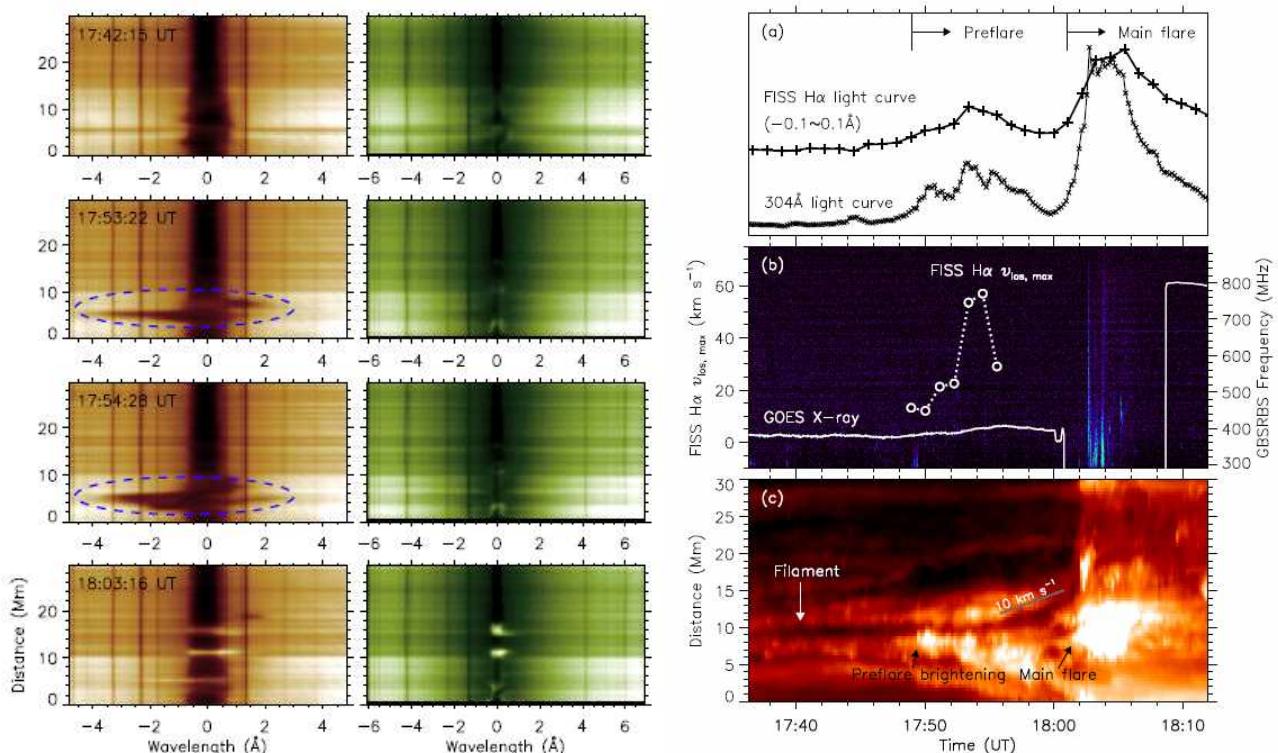


그림 9. (왼쪽): FISS H α (왼쪽)와 CaII 8542Å (오른쪽) 스펙트럼 영상. 각 스펙트럼에서 0-파장은 H α 6562.817Å과 Ca II 8542.09Å에 해당. 왼쪽 영상에서 파란색 점선의 타원으로 표시한 부분이 관측된 H α 청색방향 선폭증대에 해당함. (오른쪽): 플레어 발생지역의 선택된 지점에서의 H α 와 SDO/AIA 304Å의 light curve. (b) H α 자료에서 측정한 시선방향 속도(점선)와 GOES X-ray 1.0-8.0Å 플럭스(실선) 그래프. 시선방향 속도는 FISS H α 분광선에 각 시각별로 bisector 방법을 적용하여 구하였음. (c) SDO/AIA 304Å 자료에서 구한 시간-거리 도표. 필라멘트의 위치는 흰색 화살표로 표기함.

(9) 채층 엘러먼폭탄(EB) 현상과 광구 미세구조간의 상관성

: Fine-scale photospheric connections of ellerman bombs (The Astrophysical Journal), 양희수,
채종철, 임은경, 송동욱, 조규현, 곽한나, Vasyl Yurchyshyn, 김연한

엘러먼폭탄(EB)은 태양 발머선의 날개에서 일시적으로 밝아지는 현상임. 이 현상은 태양의 낮은 대기에서 발생하는 자기재연결이라고 생각 되지만 그 세부 기작은 아직 잘 알려지지 않았음. 우리는 빅베어 태양 천문대의 1.6미터 태양망원경을 이용하여 EB와 연관된 광구에서의 플라즈마와 자기구조의 움직임을 연구했음. 아홉 개의 EB와 그에 관련된 현상들의 시간에 따른 변화를 추적하여 EB가 발생하기 전에 광구에서의 쌀알무늬가 특이하게 찌그러진 형태(Elongated Granule-like Feature, EGF)로 팽창하는 것을 관측하였음. 이러한 EGF의 팽창하는 앞부분은 1각초보다 작은 크기의 밝은 중심부를 어두운 골이 감싸고 있는 형태임. 이러한 밝은 중심부는 TiO 필터 관측 뿐 아니라 Ca II 8542Å에서도 보였음. 이 중 네 개의 EGF는 양쪽으로 팽창하였는데 이 현상들은 부상자속(emerging flux, EF)과 연관되어 있었음. 또 다른 네 개는 흑점의 반암부 끝 부분에서 발생해서 흑점과 멀어지는 방향으로만 팽창하였음. 이 네 개의 EGF는 이동자기형체(moving magnetic feature, MMF)와 같은 자기구조와 연관되어 있었음. 이 연구는 광구의 자기구조와 플라즈마 움직임, 더불어 EB의 명확한 관련성을 보여줌. EB는 EF나 MMF와 같은 자기성분들에 의해 발생하는 자기재연결에 의해서 발생하는 것으로 보임.

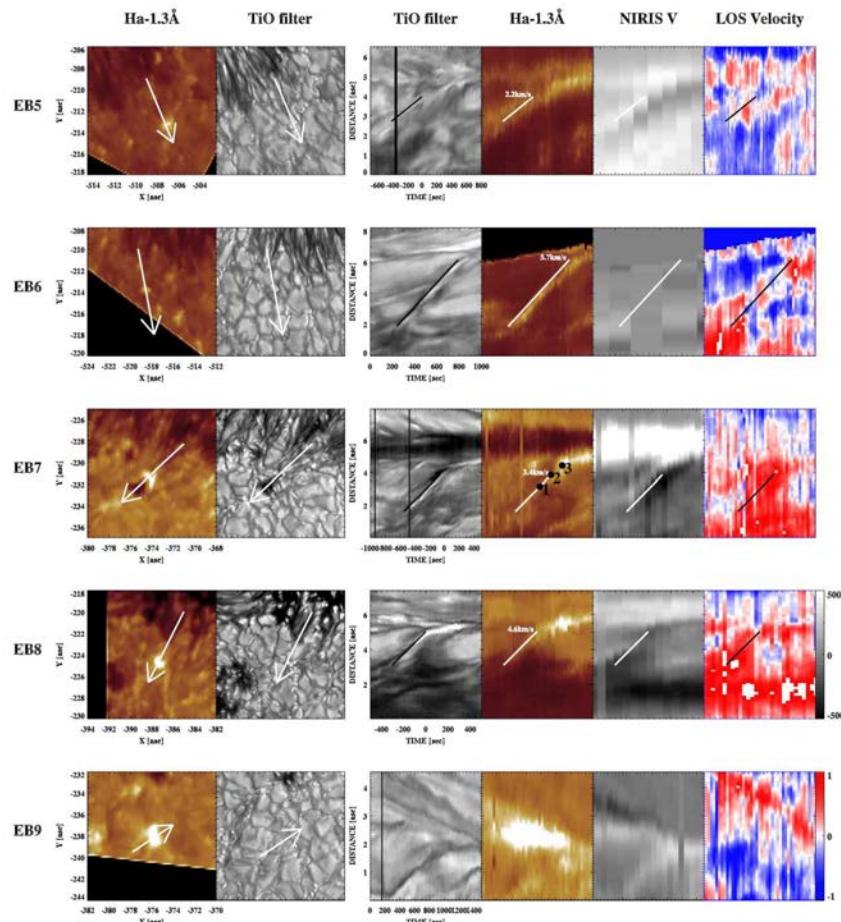


그림 10. 다섯 개의 EB에 대하여 H α -1.3Å의 밝기가 최대일 때의 H α 및 TiO 관측 영상 (왼쪽 판넬)과 TiO, H α -1.3Å, NIRIS-V, 시선속도 자료에서 구한 시간-거리 도표 (오른쪽 판넬)

(10) NST와 IRIS를 사용한 반암부의 각초크기보다 작은 밝은 점의 다중 파장 관측 연구

: Multi-wavelength Study of Transition Region Penumbbral Subarcsecond Bright Dots Using IRIS and NST (The Astrophysical Journal) Na Deng, Vasyly Yurchyshyn, Hui Tian, Lucia Kleint, Chang Liu, Yan Xu, Haimin Wang

IRIS의 고분해능 천이영역 관측을 이용하여, Tian 등은 흑점 위에 있는 많은 단기의 각초크기보다 작은 밝은 점을 밝혔다. 이는 아직 설명하지 못한 작은 규모의 에너지 분출을 나타낸다. 게다가 천이영역의 각초크기보다 작은 밝아지는 현상은 낮은 대기에서의 특징인지 어떻게 생성되는지에 대해 아직 충분히 설명되지 않았다. 본 논문은 IRIS와 BBSO에 있는 1.6미터 NST의 다중 파장으로 동시에 관측된 천이영역 반암부의 밝은 점을 보여준다. NST는 IRIS 천이영역 관측을 보완하는 좁은 대역의 H α 영상분광기와 광대역의 TiO 영상의 채층과 광구의 고분해능 관측을 제공한다. 37분 동안 관측된 IRIS 1400 Å의 slit-jaw 영상으로부터 총 2692개 천이영역 반암부 밝은 점을 확인하였다. 그 위치는 채층의 downflowing와 어두운 fibrils와 더 연관된 경향이 있으며, 광구의 밝은 반암부 영역과는 약한 관계를 경향이 있다. 그러나 밝은 점의 시간에 따른 진화 분석은 채층의 밝기 변화와 일치하지 않음을 나타낸다. 이러한 결과는 더 수직하고 밀한 자기력선을 따라 코로나 높이에서부터 떨어지는 플라즈마에 의한 천이영역의 반암부 밝은 점의 형성 방법과 양립할 수 있다. 밝은 점은 채층에서의 에너지 분출이 아니라 높은 대기에서 발생된 작은 규모의 순간적인 자기 재결합에 의해 생성될 수 있다.

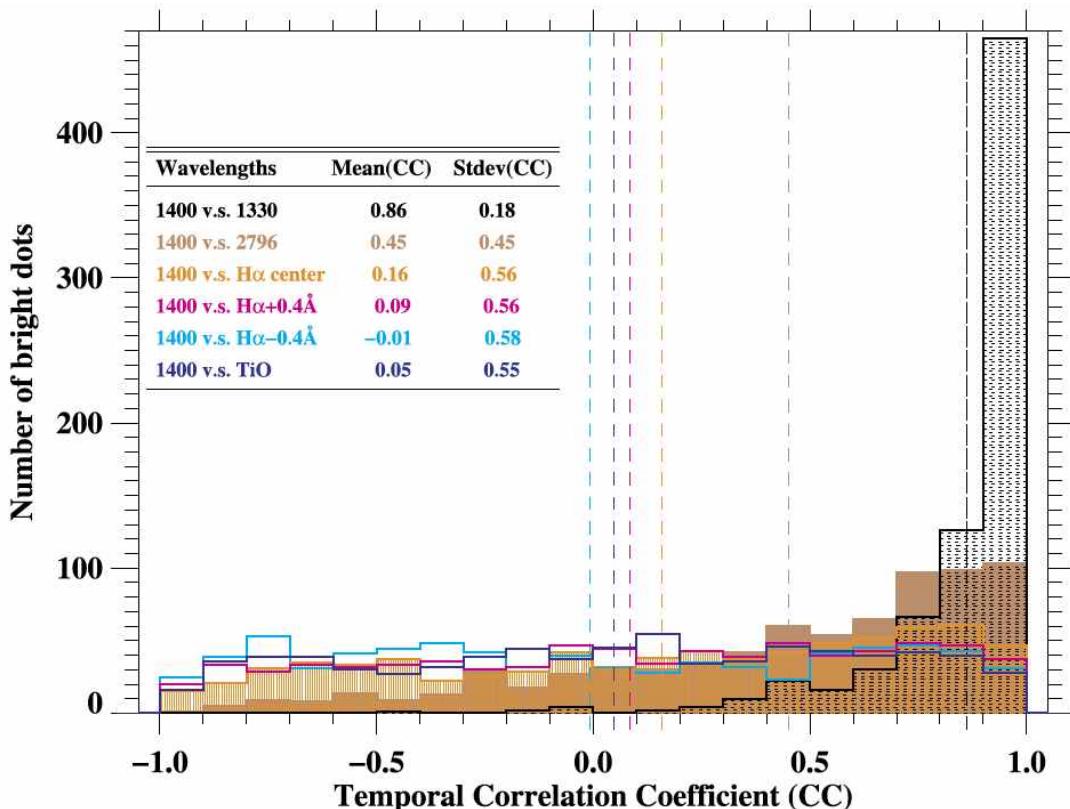


그림 11. 748개의 밝은 점으로 계산한 IRIS 1400 Å과 다른 파장(다른 색깔)과의 시간 상관계수 분포. 평균과 표준 편차는 그림의 표에 상응하는 색깔로 표시. 수직 점선은 각각의 히스토그램에 대한 평균을 나타냄.

(11) IRIS로만 관측된 극자외선 태양 제트 해석

: Undercover EUV Solar Jets Observed by the Interface Region Imaging Spectrograph (The Astrophysical Journal) N.-H. Chen, D. E. Innes

태양 표면의 극자외선 방출은 덮여있는 차가운 플라즈마에 의해 흡수된다고 잘 알려져 있다. 특히 활동영역에서의 EUV 영상의 어두운 lane은 많은 표면에서의 활동을 가린다고 제안한다. UV 분광과 slit-jaw 영상으로 이루어진 IRIS의 동시 관측은 EUV 영상에서 보이지 않는 제트의 역학의 중요한 정보를 각초단위보다 작은 공간분해능으로 준다. 2014년 5월 5일 15:02:21 UT부터 17:04:07 UT까지 관측된 11991 활동영역 옆의 양극자 쌍으로 형성된 작은 제트의 시리즈를 연구했다. 밝은 부분과 같은 방향으로 움직이는 분출흐름이 1400Å와 2796Å의 slit-jaw 영상에서 보였고, AIA 304Å와 171Å에서는 거의 보이지 않았다. 꼬임이 없는 분출로 나타나는 모든 재발되는 제트에 대해 Si IV선에서는 강한 청색편이가 보였으나, 적색편이는 그렇지 않았다. 우리는 제트의 나선모양에 의해 생기는 Mg II선의 역방향과 비역방향의 두가지 형태를 발견했다. Mg II선은 주로 광학적으로 두껍고, 도플러 변화가 강한 부분에서는 얇다. 재발되는 제트가 포함된 에너지량은 속도 차이에 의한 시선방향 속도의 함수로 나타낼 수 있는 플라즈마의 방출 힘을 측정하는 방출 측도 기법을 사용하여 추정된다. 우리는 재발되는 제트가 코로나 지역으로 108 erg cm⁻² s⁻¹의 비슷한 에너지를 방출하며, 아래방향 성분은 3% 작음을 발견했다.

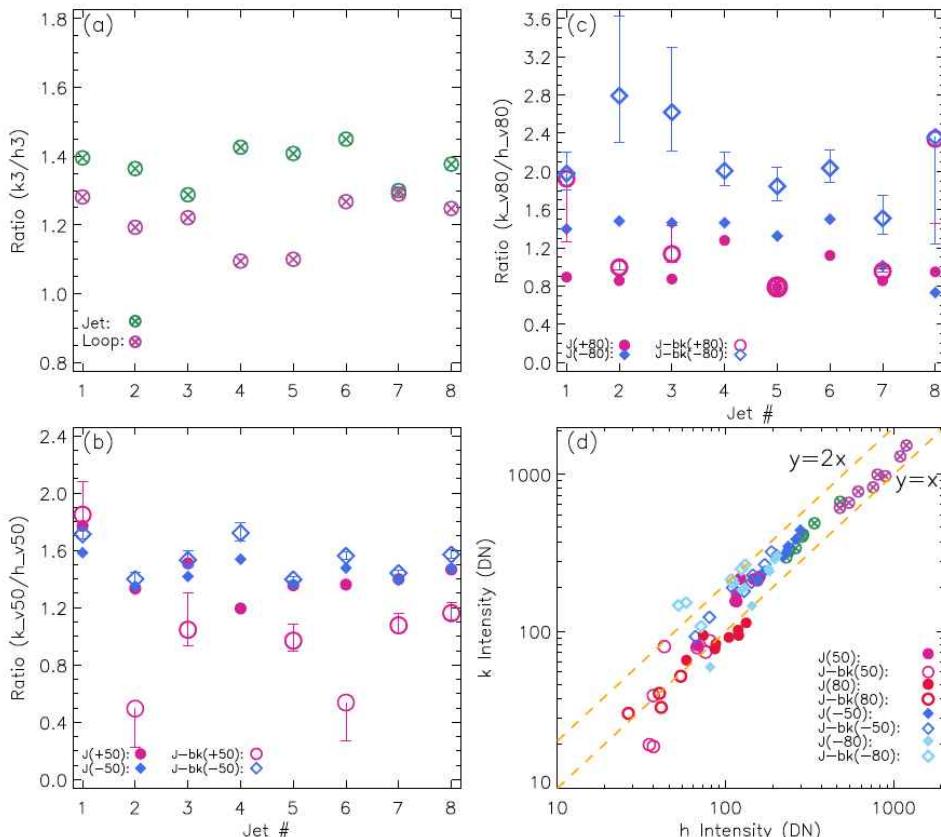


그림 12. Mg II k/h선 세기 비. (a) 선 중심 ($vel=0\text{km/s}$) (b) $vel=\pm 50\text{ km/s}$ (c) $vel=\pm 80\text{ km/s}$ (d) $vel=0, \pm 50, \pm 80\text{ km/s}$ 에서의 k선 세기와 h선 세기의 비교 산점도. 주황색 선은 비가 1과 2인 경우를 나타냄.

(12) SDO와 RHESSI로 관측된 플레어 이전 코로나 제트와 M1.8 플레어와 연관된 분출 현상의 진화 단계 연구

: Pre-flare coronal jet and evolutionary phases of a solar eruptive prominence associated with M1.8 flare: SDO and RHESSI observations (The Astrophysical Journal) Bhuwan Joshi, Upendra Kushwaha, Astrid M. Veronig, 조경석

2012년 8월 18일에 SDO AIA와 RHESSI, STEREO SECCHI EUVI로 관측된 NOAA 11548 활동 영역에서 나타난 홍염의 계기, 활성화, 분출을 조사했다. 홍염이 활성화되기에 앞서, 우리는 차가운 플럭스 로프의 갑작스런 분출과 관련된 blowout jet 형태의 눈에 띄는 코로나 활동을 관측했다. 더욱이 제트와 관련된 플럭스 로프 분출은 밖으로 팽창하는 동안 분열과 회전을 겪었다. 이런 코로나 활동은 약 12km/s의 속도로 홍염이 느리게 상승하는 동안 계속된다. 반면 홍염 아래지역에서는 점진적으로 변하는 EUV와 열적 X선 분출이 나온다. 관측을 통해 우리는 홍염 방출이 내부(tether-cutting 재결합)와 외부(분출 이전의 코로나 활동)에 관련된 복잡하고 다단계 현상이라고 제안한다. <<홍염은 코로나 자기 재결합에 의한 대규모 에너지 방출을 제안하는 M1.8 플레어 급방출 단계의 시작 때 생기는 평형 손실을 겪는다.>> 우리는 hard 전자 스펙트럼 지수($\delta \sim 3$)와 강한 hard X선 footpoint 소스를 이용하여 지수 함수 형태의 입자 가속의 특징을 얻었다. 급방출 단계 동안, 177km/s의 속도 분출하는 방향에 있는 홍염 방출의 점정 아래에서 뜨거운 EUV 플라즈모이드가 관측된다. 홍염 방출과 플라즈모이드 사이의 시간적, 공간적, 물리적 관계는 낮은 코로나에서의 빠른 홍염 방출에 의한 자기 재결합으로 나타난다.

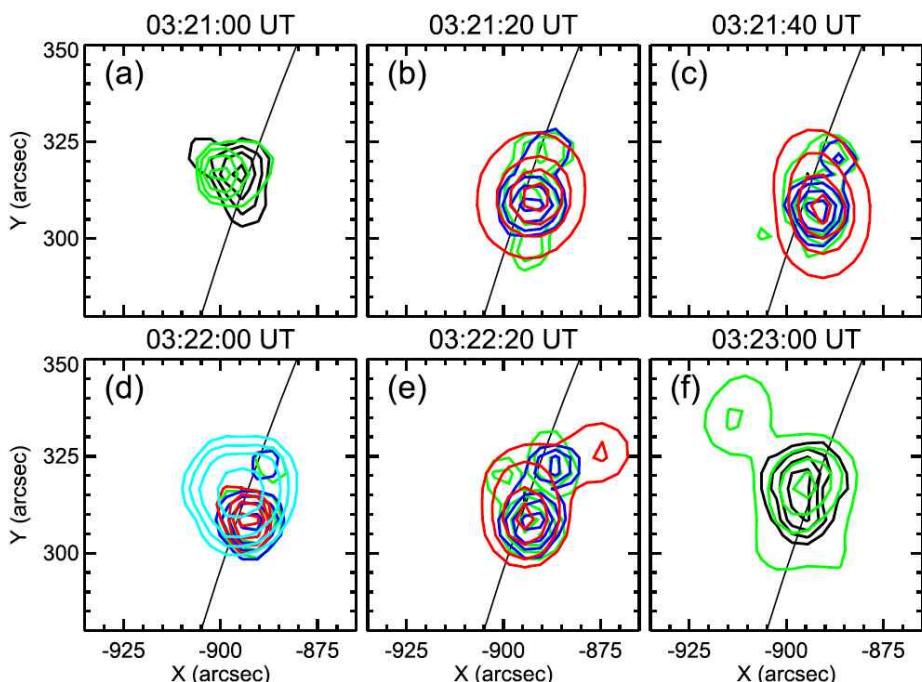


그림 13. 급방출 단계동안 6–12 keV (하늘색), 12–25 keV (오렌지색), 25–50 keV (녹색), 50–100 keV (파란색), and 100–200 keV (보라색)의 Hard X선의 시간에 따른 발달 과정. PIXON 알고리즘을 사용하여 만든 영상. 등고선은 각각 최대 플럭스의 20%, 35%, 55%, 85%임.

(13) 2011년 6월 17일 발생한 태양 극지역 제트현상과 배경 태양풍에서의 제트 관측

: The 17 June 2011 polar jet and its presence in the background solar wind (Journal of Geophysical Research) H.-S. Yu, B. V. Jackson, Y.-H. Yang, N.-H. Chen, A. Buffington, P. P. Hick

태양-지구 선상에 있는 SDO 위성과 지구로부터 각각 90° 정도 떨어진 위치에 있는 STEREO-A와 -B 등 여러 위성의 극자외선 영상 및 코로나그래프 관측 자료를 이용하여, 2011년 6월 17일 태양의 남극 코로나홀 영역에서 발생한 속도 1200 km/s 이상의 고속 제트현상을 3차원으로 분석하였다 (그림 14 왼쪽). 이 제트현상은 SDO/Helioseismic Magnetic Imager(HMI)로 관측된 극지방에서의 수 시간 주기의 자속변화와 관련이 있는 것으로 보이며, 코로나 지역에서의 제트현상은 자속의 변화가 가장 크고 SDO/Atmospheric Imaging Assembly(AIA)에서 가장 밝은 플레어가 시작되는 시각에 관측된다. 또한 이 제트현상은 코로나 지역에서 빠르게 바깥으로 진행되는 작은 패치의 형태로 관측되어 14 Rs 이상의 배경 태양풍에서도 깃털 모양으로 빠르게 진행해 나갔음을 알 수 있다. 이는 SMEI (Solar Mass Ejection Imager) 관측으로부터 3차원으로 복원된 현상 중 가장 큰 에너지와 질량을 가졌으며 Interplanetary Scintillation (IPS) 관측으로 확인된 첫 번째 outward motion이다. 이러한 제트의 동역학은 태양풍의 가속과 연관이 있을 것으로 보인다.

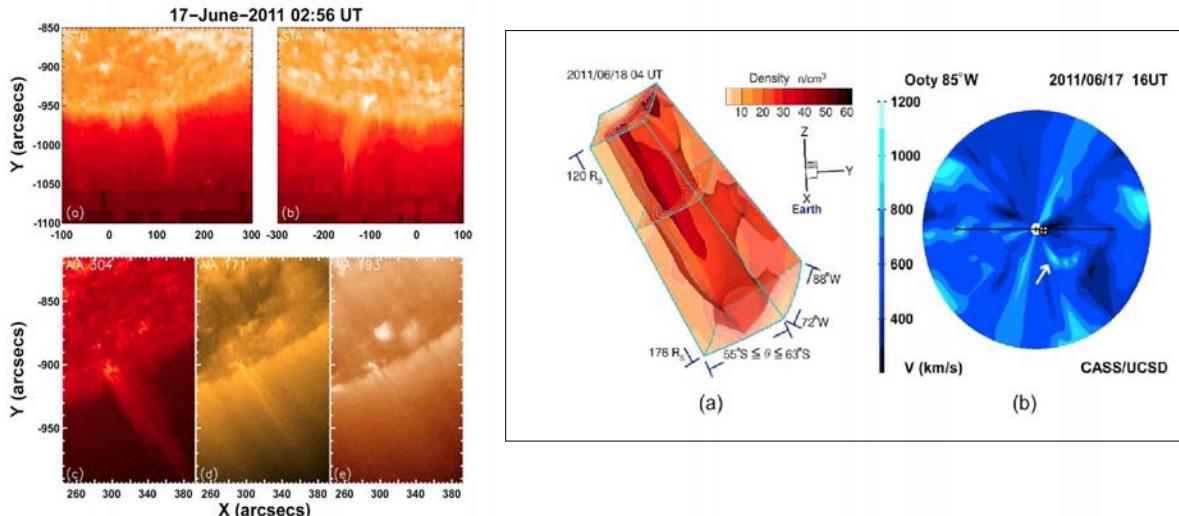


그림 14. 왼쪽판넬: STEREO/EUVI-A(a)와 -B(b), 그리고 각각 SDO/AIA의 304Å (c), 171Å (d), 193Å (e)에서 관측된 극지역 제트현상. 오른쪽판넬: 행성간 공간의 밀도(a)와 속도(b) 분포.

(14) CME의 최대속도지수와 이온층의 F1과 F2 임계주파수의 관계: 태양활동주기 23과 24 동안 중위도 지역 이온층의 관측자료 분석

: Signature of a possible relationship between the maximum CME speed index and the critical frequencies of the F1 and F2 ionospheric layers: Data analysis for a mid-latitude ionospheric station during the solar cycles 23 and 24 (Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics) Ali Kilcik, Atila Ozguc, Erdal Yiğit, **Vasyl Yurchyshyn**, Burcin Donmez

23 태양주기의 전 기간과 24 태양주기의 상승기를 포함하는 1996년부터 2013년까지의 기간 동안 월평균 최대 평균 CME 속도 지수(Maximum Coronal Mass Ejection Speed Index: MCMESI)와 국제흑점수 (International SunSpot Number: ISSN)의 두 태양활동 지수를 이용하여 태양활동이 월평균 전리층 임계주파수 (f_{oF1} , f_{oF2})에 미치는 영향을 분석하였다. 각 관측 자료의 시간적인 변화를 분석하면, 23 태양주기에서 ISSN 태양 활동 지수의 첫 번째와 두 번째 최대 동안 f_{oF1} 과 f_{oF2} 의 최대 값이 각각 발생하였다는 것을 알 수 있다 (그림 15). 교차 상관 및 히스테리시스 분석을 사용하여 각 관측 자료들을 비교하면 조사 된 시간 동안 f_{oF1} 과 f_{oF2} 모두 MCMESI 보다 ISSN과 더 높은 상관관계를 갖는다. 그러나 신뢰도를 고려하면 같은 지수들 사이의 상관 계수는 비교할 만하게 된다. 교차 상관 분석 결과를 보면 이들 태양지수들과 전리층 임계주파수 사이의 관계는 태양활동이 증가하는 시기에 더 높으며, 활동이 감소하는 시기에는 상당한 편차를 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 MCMESI가 태양 및 지자기 활동의 지표로 사용될 수 있음을 의미한다.

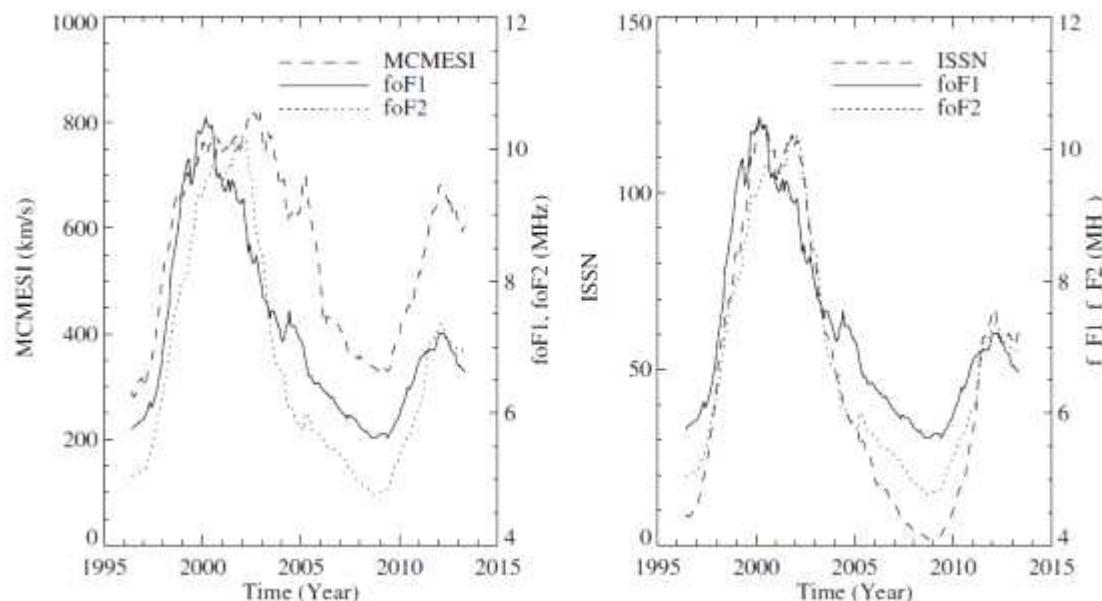


그림 15. f_{oF1}/f_{oF2} 와 함께 그린 MCMESI(왼쪽)와 ISSN(오른쪽)의 시간적 변화. f_{oF1} 의 값은 척도를 조절한 값.

(15) 조용한 필라멘트의 얇고 긴 형태의 구조에서 보이는 폭발 전 진동

: Pre-eruption oscillations in thin and long features in a quiescent filament (The Astrophysical Journal) Anand D. Joshi, Yoichiro Hanaoka, Yoshinori Suematsu, Satoshi Morita, Vasyly Yurchyshyn, 조경석

필라멘트의 구조를 보면 중심이 채층 아래로 연결되는 가늘고 긴 구조가 여러 개 관측된다. 이러한 구조의 기원을 추적하고 해석하기 위하여 SDO/AIA 171 Å 영상의 타임 슬라이스 다이어그램을 사용하여 활동영역에 가까이 위치하는 조용한 필라멘트를 분석하였다. 먼저 필라멘트의 거의 절반의 지역에서 분출이 발생하기 전에 진동의 형태(폭발 전 진동)로 활성화 되었는데, 이후 거의 30시간이 지난 후 분출이 시작되었다. SDO/HMI 자료를 보면 가늘고 긴 구조가 나타나기 직전에 footpoint에서 밝기 증가와 함께 소규모의 자속 소거(magnetic flux cancellation)가 관측된다. 진동과 함께 필라멘트의 느린 상승이 발생하는데, 이것은 평형상태가 점차 깨어지는 것을 나타낸다. 이는 인접한 두 활동영역과 조용한 필라멘트 간의 자기장 연결성의 변화가 필라멘트 위에 위치한 아케이드를 약화시켜 결국 분출로 이어진다는 것을 의미하며, 진동하는 구조는 필라멘트의 barb 구조로 필라멘트의 분출 전 단계에서 이러한 진동으로 나타나는 것이라 할 수 있다.

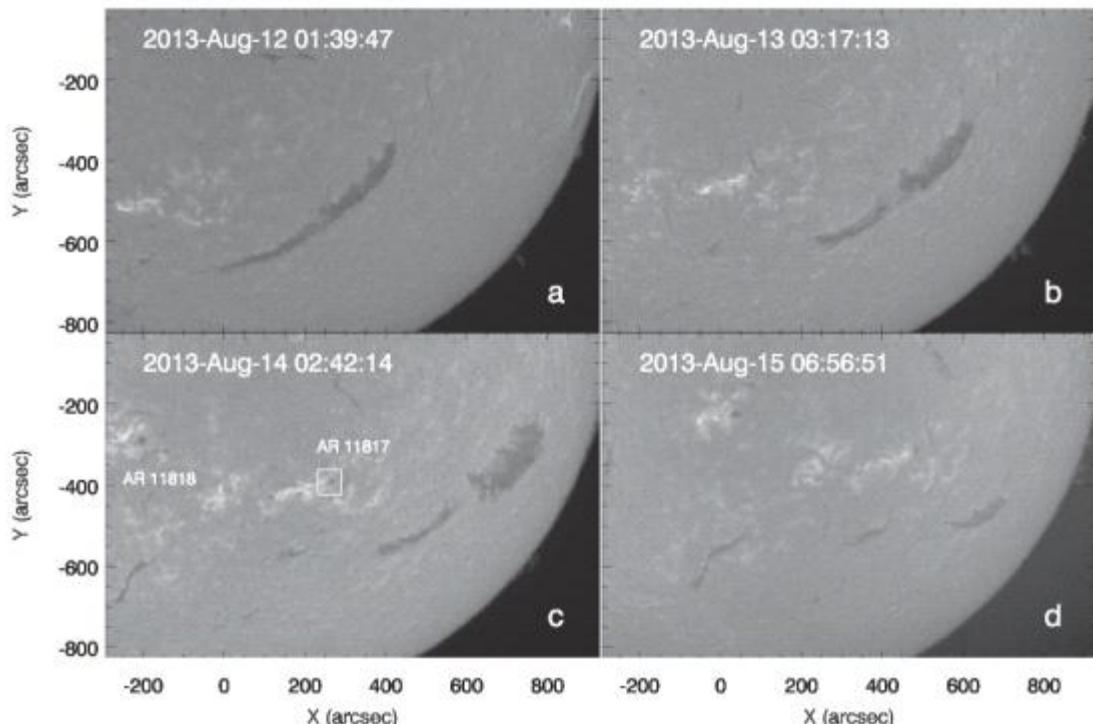


그림 16. NAOJ/SFT의 H α 관측 영상

(16) 태양에서 관측된 활동적인 위도 진동 현상 연구

: Active latitude oscillations observed on the Sun (Solar Physics) A. Kilcik, V. Yurchyshyn, F. Clette, A. Ozguc, J.-P. Rozelot

우리는 지난 6번의 태양활동주기(1945 - 2008) 동안 흑점 그룹의 평균 태양 위도(활동적인 위도)의 주기성들에 대해 조사하였다. 이 연구를 위해 멀티테이퍼 방법(multitaper method)과 모렛 파장 분석(Morlet wavelet analysis)을 사용하였다. 조사한 지난 6번의 태양활동주기동안 태양 자전 주기 (26 - 38 days) 영향이 태양 북반구와 남반구에서 관측한 활동적인 위도에 모두 나타나는 것을 확인하였다. 태양 북반구와 남반구에서 관측한 활동적인 위도는 각 태양활동 주기에 따라 적도지역으로 이동하였고 특정 진동 궤도를 따랐다. 이러한 주기성들은 2차 다항 회귀곡선으로 잘 설명되었다. 조사한 태양활동주기동안에 55일에서 300일 사이의 주기성은 뚜렷한 의미가 없다는 것을 확인 할 수 있었다. 300에서 370일 사이의 주기성은 태양 활동 23주 기에서는 태양 모든 반구에서 나타났으며, 태양활동 20주기에서는 북반구에서만 태양활동 18주기에서는 남반구에서만 나타났다.

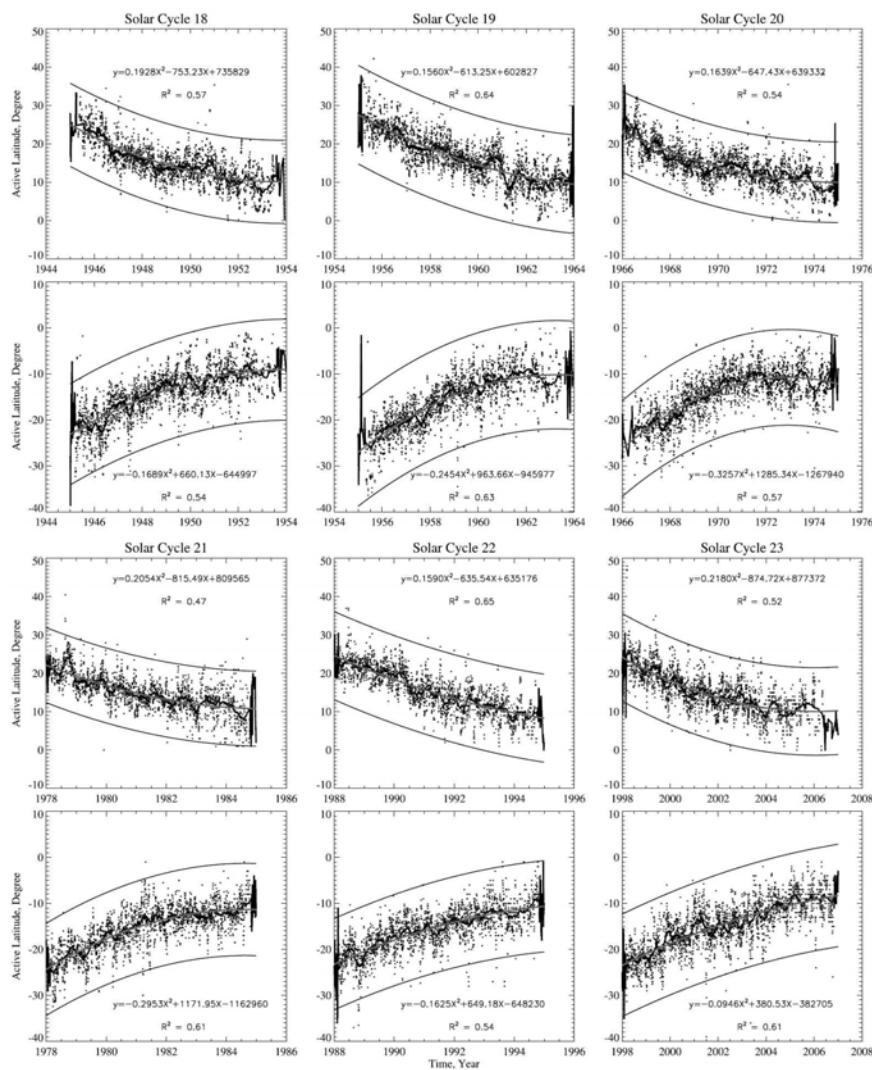


그림 17. 태양활동 18주기에서 23주기동안 북반구와 남반구에서의 활동적인 위도 변화 곡선

- (17) 코로나 루프에서의 플레어 충격파 전파 현상 및 그와 관련된 Type II 태양전파 폭발 연구
: Flare-generated shock wave propagation through solar coronal arcade loops and an associated type II radio burst (The Astrophysical Journal) Pankaj Kumar, D. E. Innes, 조경석

본 논문은 다파장 관측을 통해 분석한 플레어에 의해 발생된 Type II 태양전파폭발의 관측 결과를 소개 한다. Type II 태양전파 폭발로부터 산출한 충격파의 전파 현상이 코로나 루프에서 극자외선파의 전파 현상과 밀접한 관련이 있는 것을 확인 하였다. 극자외선파는 코로나물질방출을 동반하지 않은 M1.0 등급 플레어와 관련이 있었으며, 활동영역 12035 안에 있는 코로나 루프의 바닥지역에서 발생되었다. 극자외선파는 태양대기영상관측기기(Atmospheric Image Assembly)의 335 Å 채널에서 먼저 관측이 되었으며 속도는 800 km/s 였고, 코로나 루프를 지나가면서 1490 km/s까지 가속이 되었다. 플레어 발생 지역에서 부채꼴 모양의 자기장 구조(fan-spine magnetic topology)가 나타났으며, 극자외선파와 반대방향으로 움직이는 작은 필라멘트 분출을 관측하였다. 우리의 연구결과는 부채꼴 모양의 자기장 구조 안에서 발생할 수 있는 브레이크아웃 자기재연결 (breakout reconnection)현상이 플레어와 극자외선파를 발생 시켰고, 극자외선파가 코로나루프에서 빠른 충격파로 형태로 전파하고 있다는 것을 암시하고 있다.

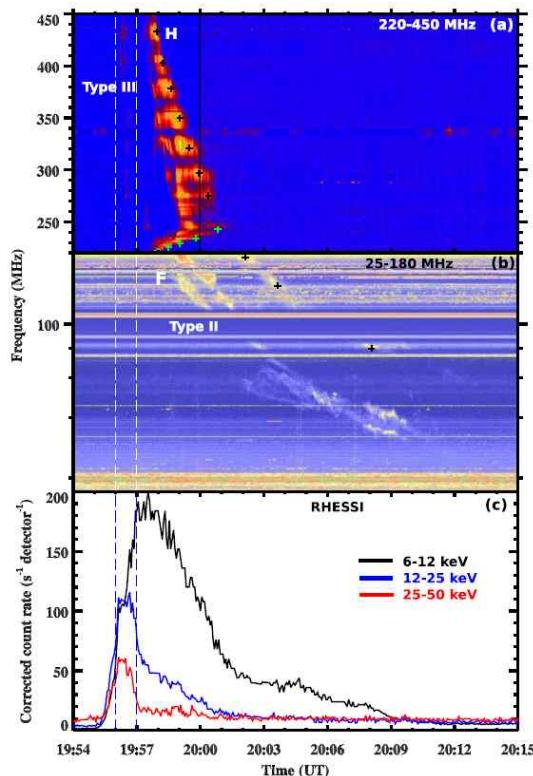


그림 18. 플레어에 의해 발생된 Type II 태양전파폭발(a,b), RHESSI 위성의 X-ray 플럭스(c)

(18) 거대태양활동영역 12192 에서 발생한 플레어 연구

: How did a major confined flare occur in super solar active region 12192? (The Astrophysical Journal) Chaowei Jiang, S. T. Wu, Vasyl Yurchyshyn, Haiming Wang, Xueshang Feng, Qiang Hu

거대태양활동영역 12192에서 발생한 X등급 플레어에 대한 물리적 발생 기작을 관측기반 자기유체역학 수치모델을 통해 조사하였다. 이를 위해 태양표면에서 관측한 자기장 변화를 이용하여 실제 코로나 진화를 구현할 수 있는 자기유체역학 시스템을 만들었다. 수치 모델 결과 2일 동안의 광구 자기장 변화에 따라서 코로나 자기장이 천천히 꼬였으며, 이로 인해 큰 규모의 코로나 전류 판(Current sheet)이 활동영역 중심부분에서 점차적으로 형성되었다. 전류 판은 꼬인 자기장 루프들(sheared magnetic arcades) 사이에서 테러커틱(tether-cutting) 자기재연결이 일어나기 전까지 증가하였으며, 자기재연결 현상으로 플레어가 발생하였다. 수치 모델에서 나타난 자기재연결 자기장과 그들의 바닥지역의 구조가, 관측된 플레어가 발생한 코로나 루프와 플레어 리본과 잘 맞는 것을 확인할 수 있었고, 이러한 결과는 수치 모델이 플레어와 관련된 미세한 자기장 변화를 성공적으로 구현하고 있다는 것을 암시하고 있다. 특히 수치 모델 결과는 새롭게 형성된 플럭스 루프 구조에 의한 자기재연결 현상이 아닌 꼬인 루프에서 플레어 분출현상이 일어날 수 있음을 설명하고 있다. 약한 자기장 폭발 효과를 X등급 플레어들과 비교를 통해서 확인할 수 있었다.

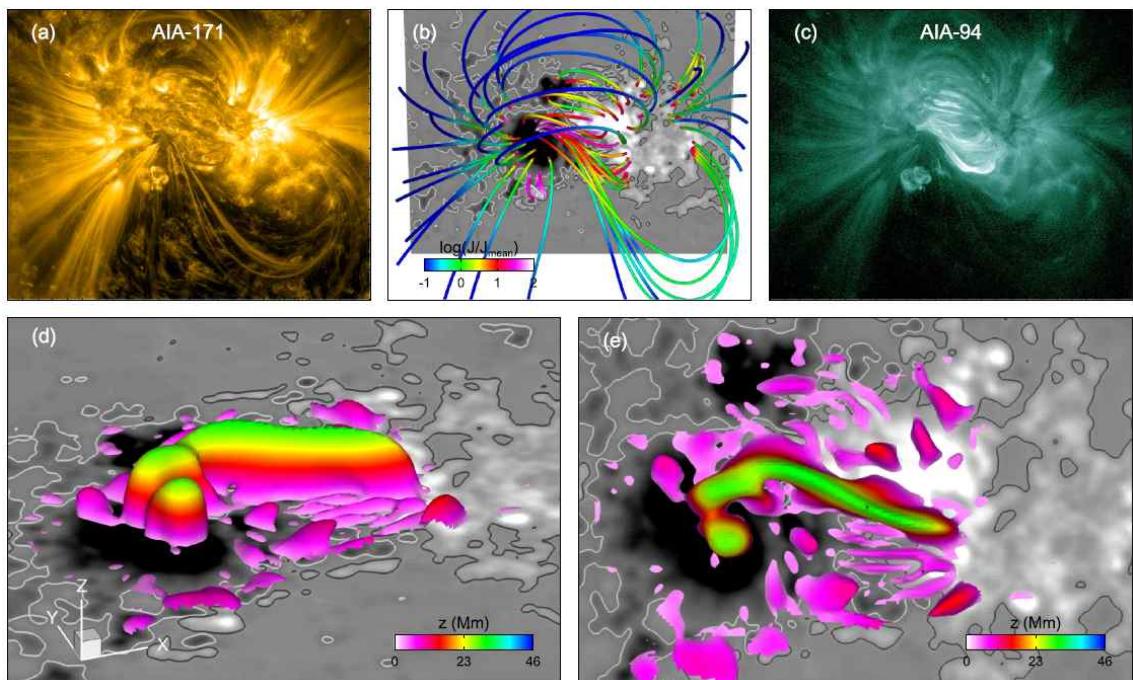


그림 19. AIA 171 Å 94 Å 영상(a, c). MHD 수치모델로 구현한 자기장 구조(b), 전류층 구조 영상(d, e)

(19) 거대태양활동영역 12192 에서 발생한 플레이어 연구

: The 17 March 2015 storms: The associated magnetic flux rope structure and the storm development (Earth Planets and Space) K. Marubashi, 조경석, 김록순, 김수진, 박성홍, H. Ishibashi

본 연구의 목적은 (1) 2015년 3월 17일 발생한 폭풍과 연관된 자기구름(MC) 구조 결정과 (2) 태양풍 상태에 대하여 어떻게 폭풍이 진화했는지에 대한 통찰을 얻기 위함이다. 우선, 관측된 태양풍 자기구조를 설명하기 위해 두 개의 flux rope 모델(cylindrical/toroidal model) 핏팅을 통해 MC 기하학적 구조를 조사하였다. 그리고, 조사된 MC 구조가 어떻게 태양 원천 지역과 연결되는지를 시험하면서 관측된 MC를 설명하는 가장 좋은 모델을 찾고자 하였다. 그 결과 toroidal flux rope이 가장 적합한 모델로 판명되었다. 폭풍의 진화과정을 이해하기 위해 관측된 Dst 변화로부터 폭풍 고리 전류장(storm ring current) 유입율을 측정하였다. 그 결과 태양풍 관측으로부터 모델 계산된 Dst 변화가 관측된 Dst와 잘 맞는 것을 확인하였으며, 이는 태양풍 변화를 함수로 하는 우리 모델의 유효성을 입증한다.

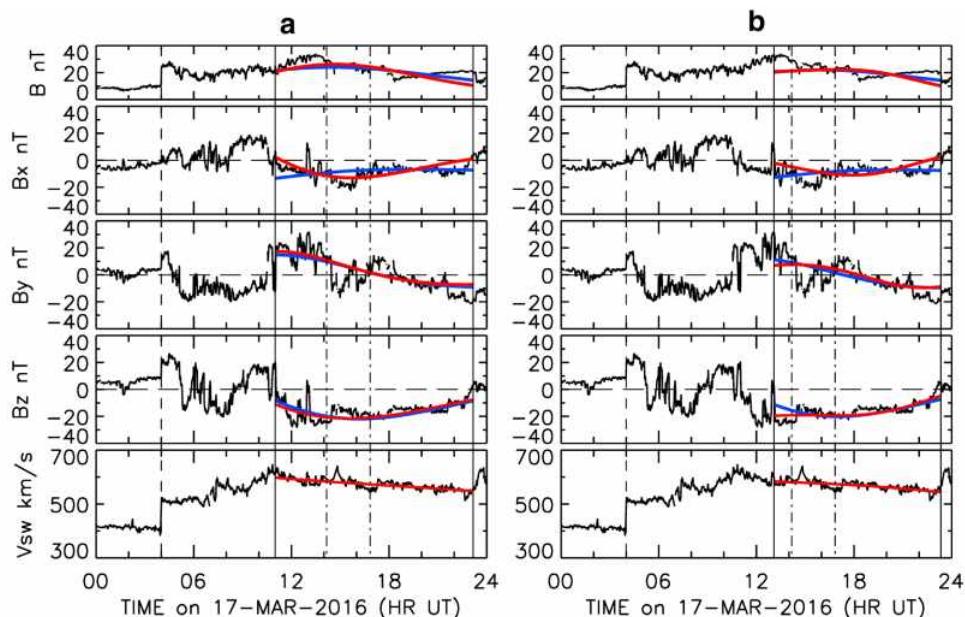


그림 20. 태양풍 자기장(B , B_x , B_y , B_z)과 속도(V_{sw}) 관측과 torus fit(붉은 실선)/cylinder fit(파란 실선) 결과 비교. a. 11:00-23:10 UT 핏팅, b. 13:04-23:20 UT 핏팅

2. 근지구 우주공간변화 연구

(1) 저위도 적색 가시 대기광 영상에 나타난 플라즈마 감소-증가 천이 과정의 반구 간 비대칭성 : Hemispheric asymmetry in transition from equatorial plasma bubble to blob as deduced from 630.0 nm airglow observations at low latitudes (J. Geophys. Res. Space Physics) 박재홍, Carlos R. Martinis, Hermann Lühr, Robert F. Pfaff, 곽영실

저위도 지역에서는 플라즈마의 밀도 급감 현상이 자주 발생하는데, 이는 흔히 플라즈마 거품이라 불리며 레일리-테일러 불안정성에 의한 것으로 알려져 있다. 때때로 이러한 플라즈마 밀도 급감 지역이 비슷한 모양의 플라즈마 밀도 상승 지역으로 전환되는 현상이 발견되는데, 기존의 연구에서는 이 현상을 남북반구에서 동시에 관측한 적이 없었다. 본 연구에서는 적색 가시 대기광 영상 장비 3대를 이용하여 해당 현상을 남북반구 대척점 상 동시 관측하였으며, 때마침 부근을 지나고 있던 위성들의 자료를 통해 관측의 신빙성을 제고하였다. 해당 현상은 양 반구에서 동시에 발생하지 않고 겨울 반구에서만 발생하였으며, 이는 기존의 이론 논문이 예측한 바와 일치한다.

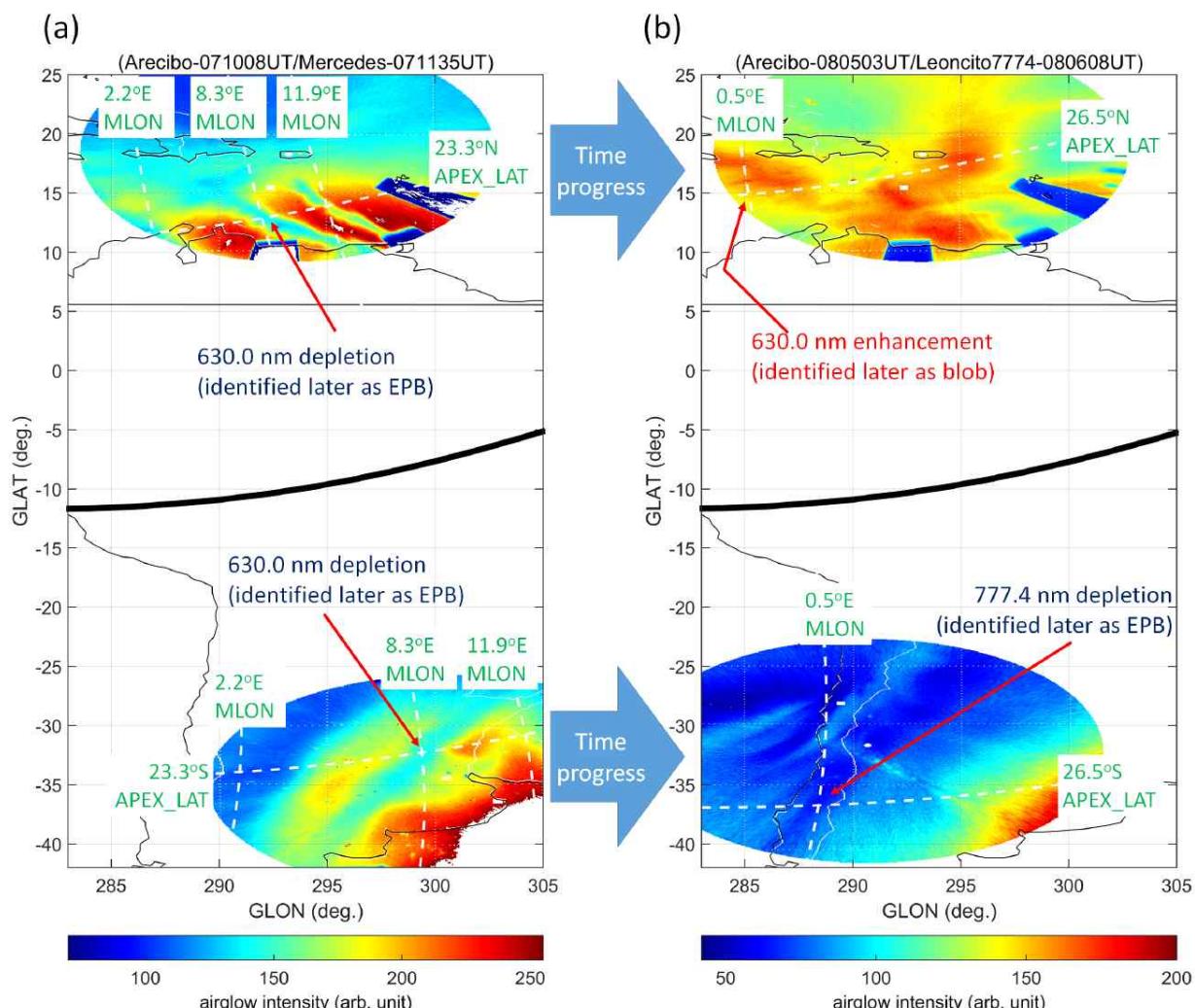


그림 21. 플라즈마 감소-증가 천이 과정의 반구 간 비대칭성: (좌) 천이 전, (우) 천이 후

(2) 태양풍 변수를 사용한 지자기폭풍 모델링 연구

: Modeling the storm time behavior of the magnetosonic waves using solar wind parameters (J. Geophys. Res. Space Physics) 김경찬, Lunjin Chen

지구 자기권 내부의 플라즈마권계면 근처 적도 지역에서 주로 관측되는 magnetosonic wave(또는 equatorial noise)의 발생 빈도를 태양풍 변수와의 상호관계를 계산하여 계산하였다. magnetosonic wave는 최근 지구방사선대 고에너지 입자의 가속 메커니즘의 유력한 원인으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 태양풍 변수와 magnetosonic wave intensity와의 상관계수(ROCC)를 기반으로 한 경험 모델을 독자적으로 제안하여, 태양풍 변수 IMF Bz의 상승 이후 대략 3-4hr 이후에 파동의 발생 빈도가 가장 증가함을 발견하였다. 이 태양풍 기반 magnetosonic wave 예측 모델을 활용하면 기존의 AE 지수 기반의 모델보다 플라즈마권 바깥 영역에서는 38%, 내부 영역에서는 26% 예측 효율을 증가시킬 수 있다.

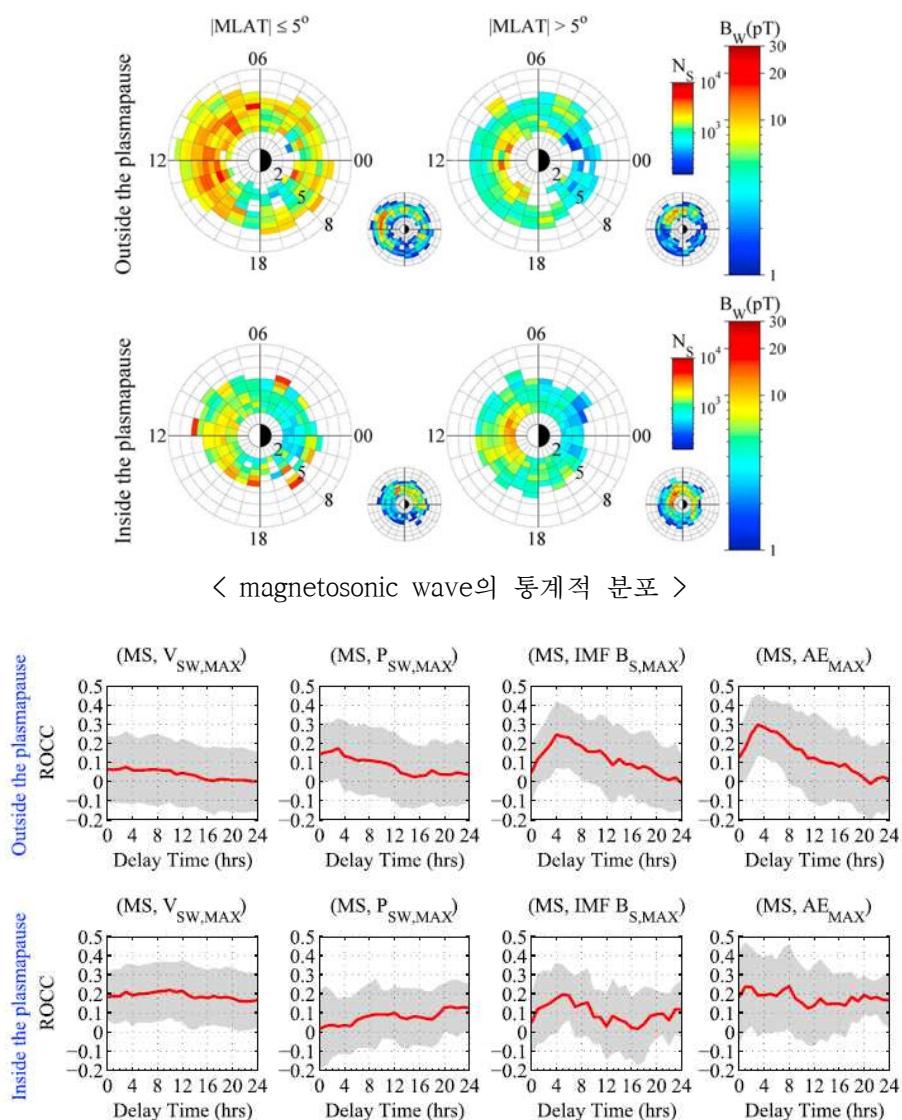


그림 22. V_{sw}, P_{sw}, IMF B_z, AE와 magnetosonic wave의 상관관계. (위) 플라즈마권 안, (아래) 플라즈마권 바깥

(3) 스웜 위성군 관측의 주간 중위도 플라즈마 구멍: 전리권 상부에 표출된 로켓 연료분사 궤적
: Daytime midlatitude plasma depletions observed by Swarm: Topside signatures of the rocket exhaust (Geophys. Res. Lett.) 박재홍, 길효섭, Claudia Stolle, Hermann Lühr, William Coley, Anthea Coster, 곽영실

주간 중위도 지역에서 발견된 플라즈마 밀도 구멍은, 스웜 위성군이 발사된 직후인 2014년 상반기에 관측되어 이미 논문으로 보고된 바 있으나, 그 생성 기작이 명확히 밝혀지지 않았다. 즉, 적도 거품에 의한 것으로 생각되기에에는 위도가 지나치게 높고 지자기 활동이 조용하였으며, 중위도의 이동성 교란으로 해석되기에에는 인접 지역의 유사 교란이 전혀 없었다. 본 연구에서는 이 현상이 인근 플로리다의 로켓 발사에 의한 전리층 플라즈마 밀도 감소라고 해석하며, 그 근거로서 다음의 사실들을 제시한다: (1) 밀도 구멍 관측 수 시간전에 실제 로켓 발사가 있었던 점, (2) 밀도 구멍이 로켓 발사장으로 수렴하는 단순 곡선 형태를 띠는 점, 그리고 (3) 밀도 구멍의 지속 시간이 이론적 예측과 대략적으로 일치하는 점.

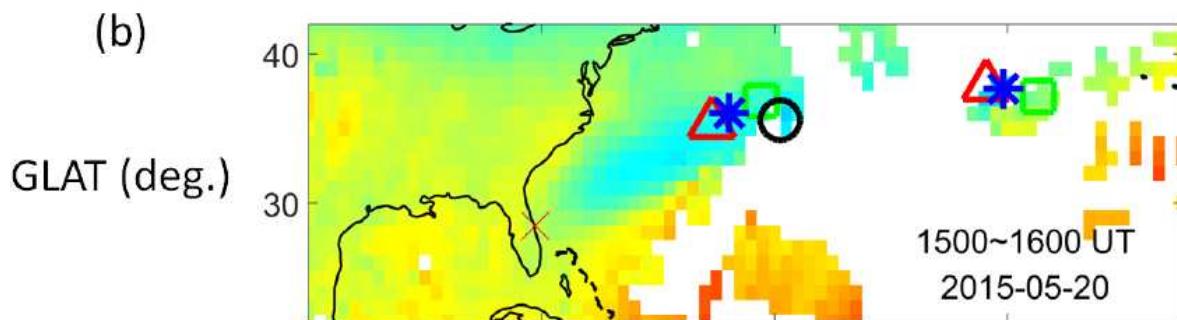


그림 23. 주간 중위도 플라즈마 구멍 (푸른 색깔) 및 로켓 발사장의 좌표 (적색 X표)

(4) 야간 중위도 자기 교란의 통계 분석: 스웜 위성군 관측으로 추정한 에너지 근원 위치와 포인팅 속도

: Statistical survey of nighttime mid-latitude magnetic fluctuations: Their source location and Poynting flux as derived from the Swarm constellation (J. Geophys. Res. Space Physics) 박재홍, Hermann Luehr, Claudia Stolle, Juan Rodriguez-Zuluaga, David J. Knudsen, Johnathan K. Burchill, 곽영실

야간 중위도 지역에서 자기장이 떨리는 현상은 익히 알려져 있으나, 과연 해당 파동의 에너지원이 어느 곳에 위치하는지, 그리고 해당 파동이 수송하는 에너지의 양의 크기에 대해서는 충분히 연구된 바가 없다. 본 연구에서는 스웜 위성군의 전기장 및 자기장 관측 자료를 이용하여 위에서 제시한 두 가지 질문에 대해 답하고 있다. 첫째로, 해당 파동의 에너지원은 대개 여름반구에 존재하며, 에너지는 여름 반구에서 겨울 반구로 흐른다. 둘째로, 해당 파동이 수송하는 에너지의 양은 대략 제곱미터당 1 마이크로 와트 부근이다.

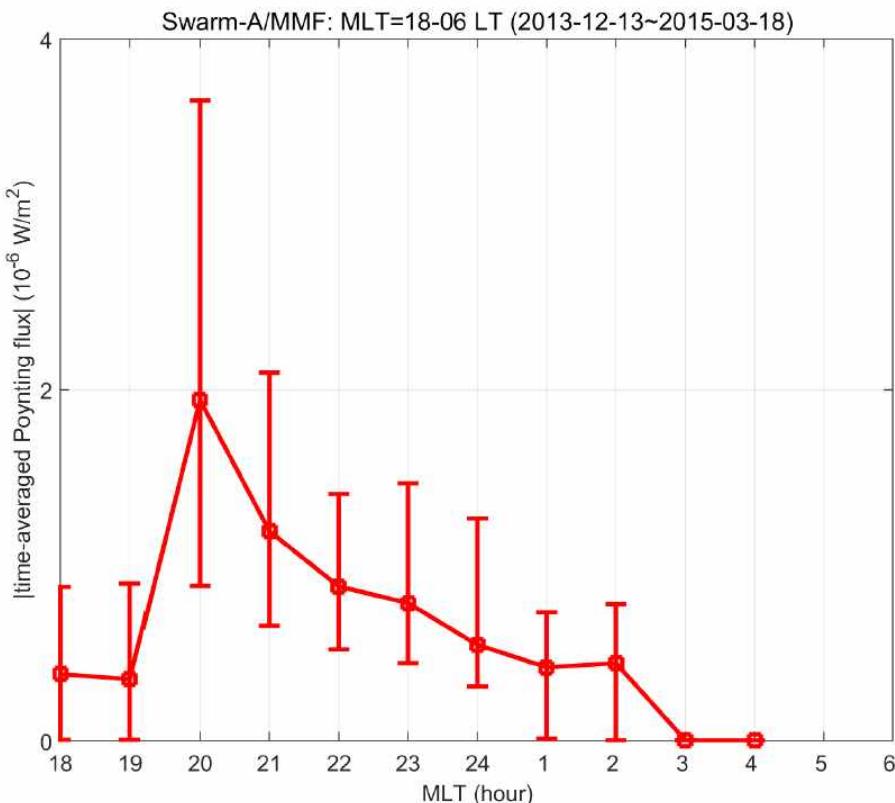


그림 24. 스웜 위성 관측을 통해 추정한, 야간 중위도 자기 파동이 수송하는 에너지양

(5) Odd EigenMode에 의한 Ion Acoustic Solitary Waves 생성 연구

: Generation of Coherent Ion Acoustic Solitary Waves in Inhomogeneous Plasmas by an Odd Eigenmode of Electron Holes (Physics of Plasmas) 독고경환, 우민호, 최정립, 민경욱, **황정아**

1D electrostatic particle-in-cell 시뮬레이션 코드를 사용하여, inhomogeneous plasma에서 electron holes (EHs)의 odd eigenmode (OEM)에 의한 ion acoustic solitary waves (IASWs) 생성을 연구하였다. OEM의 frequency는 trapped 전자의 bouncing frequency와 비슷하였는데, 이는 Lewis의 이론을 사용한 BGK equilibrium의 linear eigenmode 분석의 결과를 통해 증명되었다. inhomogeneous plasma의 density gradient는 OEM과 관련이 깊은 EH potential의 asymmetry를 만드는데, 이 OEM의 amplitude는 EH의 density gradient 영역을 통과하면서 급격하게 증가한다. 이 asymmetric potential의 진동, 즉 OEM의 oscillation은 ion과 상호작용할 수 있을 만큼 충분히 느린데, 이로 인하여 ion은 potential의 amplitude가 큰 lower density로 방출되어 OEM과 coherence가 있는 IASWs를 형성하게 된다.

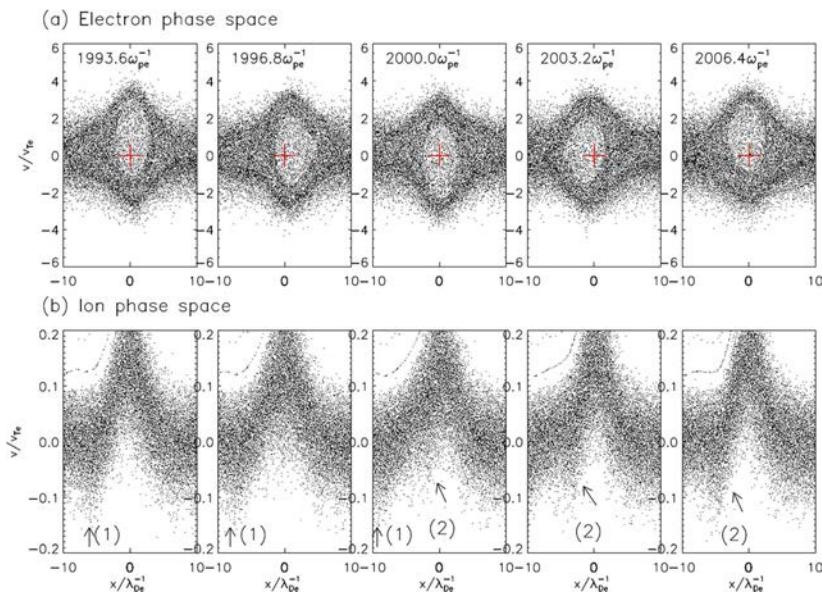


그림 25. OEM oscillation의 single period의 (a) 전자들, (b) 이온들의 위상공간 변화 모습들-
빨간색 +는 EH의 중심을 표시하고, 그림 (b)의 검적색 화살표는 OEM oscillation과 관련 있는
IASWs를 가리킴

(6) Ion temperature anisotropy와 Alfvén wave와의 상관관계 연구

: Ion temperature anisotropy due to perpendicular heating by Alfvén wave propagating along magnetic field lines (Physics of Plasmas) 최정립, 우민호, 독고경환, 이대영, Peter H. Yoon, **황정아**, **이재진**, 박영득

constant background magnetic field에 따라 퍼져나가는 선형적으로 편광된 Alfvén wave의 수직 가열과 이온의 가속에 대해 연구하였다. 이온의 perpendicular diffusion coefficient는 이온 heating이 non-resonant wave-particle 상호작용에 의해 도달되어진 것을 분명하게 입증하는 linear perturbation 이론에 근거한 자기 상관 함수를 통해 계산되어졌다. 상대적으로 짧은 시간 동안에 perpendicular heating과 이온의 가속이 Alfvén wave에 의해서 발생한다는 것을 찾아내었다. 이온 A의 온도 비등방성은 parallel ion heating이 발생하지 않는 동안에 증가한 perturbation amplitude와 함께 증가함을 보여주었다.

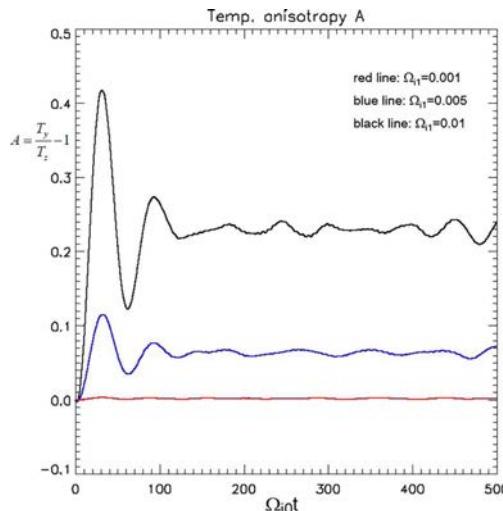


그림 26. 이온 온도의 비등방성

(7) RBE 모델을 사용한 지구방사선대 상대론적 전자의 감소 현상 시뮬레이션 연구

: Simulation of a rapid dropout event for highly relativistic electrons with the RBE model (J. Geophys. Res. Space Physics) 강석빈, M.-C.Fok, A.Glocer, 민경욱, 최정림, 황정아

지구방사선대의 급속한 플럭스 감소 현상 (flux dropout)은 지구 방사선대에서 수 시간 이내의 짧은 시간 간격 안에 매우 갑자기, 그리고 큰 규모의 감소로 나타난다. 본 논문에서는 이러한 급격한 플럭스 감소 현상의 원인을 규명하기 위해서 NASA GSFC에서 개발한 Radiation Belt Environment (RBE) 모델을 사용하여 관측 현상을 재현해 보았다. 지구방사선대 입자의 감속 현상을 설명하기 위해서 지금까지는 주로 지구 자기권 바깥쪽으로 입자가 유실된다는 magnetopause shadowing과 지구 한쪽의 대기권으로 파동-입자 상호작용에 의한 피치각 (pitch-angle) 산란에 의해서 유실된다는 두 가지 설이 유력하였다. 이번 연구에서는 2002년 10 월 23-26일 동안 발생한 지자기 폭풍과 이와 동반된 지구 방사선대의 바깥 벨트에서의 플럭스 감소현상을 주로 2.5 MeV 전자 에너지에 초점을 맞추어서 RBE 모델을 활용하여 재현해보자 하였다. 최근에 EMIC가 MeV 이상 전자 플럭스의 감소에 역할을 하는 것으로 많이 보고되고 있어서 본 논문에서는 EMIC 파동에 의한 피치각 산란계수를 추가로 계산하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과 EMIC 파동 효과를 추가했을 경우 관측 결과가 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. EMIC 파동의 전 지구 분포함수를 얻기 위해서 THEMIS 위성의 자료를 사용하였으며, 관측 자료는 저궤도 위성인 SAMPEX위성의 > 2.5 MeV 이상의 관측 자료를 활용하였다. EMIC 파동의 피치각 산란계수를 계산하기 위해서 Kp 지수에 기반 한 예측 모델을 개발하였는데, Kp 지수에 의한 EMIC 파동 예측 효율이 기대했던 것만큼 잘 맞지 않는 것을 확인하였다. 따라서 EMIC 파동을 우주환경 지수로 예측하기 위한 모델링을 할 경우에는 다른 우주환경 지수를 활용하는 것이 좋을 것으로 판단한다.

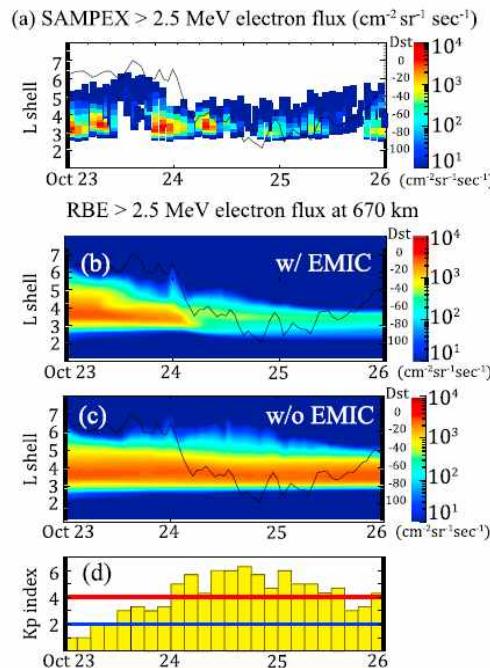


그림 27. SAMPEX 위성으로 관측한 2.5MeV 이상 전자 플럭스와 RBE 모델을 활용하여 EMIC가 있을 때와 없을 때의 시뮬레이션 결과 비교

(8) 다중 위성 관측을 통한 지난 태양 극소기의 상부 전리층 변화 연구

: Variation of the topside ionosphere during the last solar minimum period studied with multi-satellite measurements of electron density and temperature (J. Geophys. Res. Space Physics) 류광선, 곽영실, 김용하, 박재홍, 이준찬, 민경욱

CHAMP, DEMETER 및 DMSP F15의 전리층 측정을 사용하여 지난 태양 극소기 동안 상부 전리층의 계절적 및 공간적 변화를 조사하고 전리층 모델과 비교했다. 모든 인공위성 측정에서 적도 이온화 이상 (EIA)은 3-4 파수 형태의 경도 비대칭을 명확하게 보여준다. 웨델 해 이상 (WSA) 또는 중위도 여름 야간 이상 변이 (MSNA)라고 알려진 야간 전리층 플라즈마의 비정상적인 증가는 고도에 따라 지자기장의 세부 기하학적 차이를 반영하는 것으로 판명되었다. 야간 전리층에서, 적도 플라즈마 온도 이상 (EPTA)은 상향 플라즈마 수송 역전 향상의 잔재로 귀결되었다. EIA, WSA, MSNA 및 EPTA는 모두 상향 플라즈마 이동과 관련되어 있지만 열역학적 진화의 차이가 있다. EIA 및 EPTA에서는 플라즈마가 지자기력선을 가로 질러 이동하는 표류에 기인하는 반면, WSA와 MSNA의 지자기력선에 평행한 방향으로 이동한다.

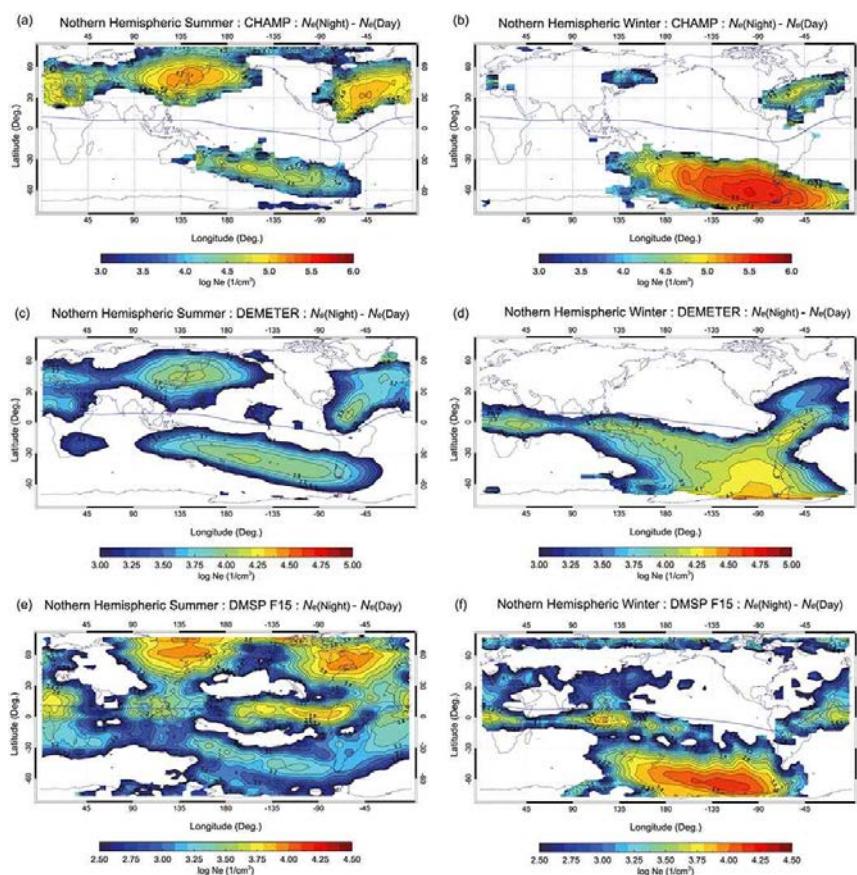


그림 28. 다중 위성 관측으로 재구성한 웨델 해 이상 (WSA), 그리고 중위도 여름 야간 이상 변이 (MSNA)

(9) 플라즈마권의 시작점은 어디인가?

: Where does plasmasphere begin?: Revisit to topside ionospheric profiles in comparison with plasmaspheric TEC from Jason-1 (J. Geophys. Res. Space Physics) 이한별, 김용하, 김은솔, 홍준석, 곽영실

상부 전리권 밀도는 1962-1972 년과 1972-1979 년의 기간에 각각 Alouette 1과 ISIS 1/2로 측정되었고, 1000km의 궤도 고도에서 F2 최대 밀도 고도까지를 측정하며 현지 시간, 위도 및 계절에 걸쳐 큰 변화를 보여준다. 우리는 이 결과를 1336km에서 20,200km (GPS 궤도)까지의 Jason-1 위성에 의해 측정 된 플라즈마 구형 전자 총 함량 (pTEC)과 비교하여 이러한 변화를 분석한다. 분석 결과는, 1000km에서의 전리층 프로파일이 확산 평형에 있기보다는 동적으로 변화함을 의미한다. tiTEC와 pTEC의 차이점을 바탕으로 살펴볼 때, 우리는 ~ 1300km 이상의 지역을 플라즈마 영역으로 고려해야한다. 일부 연구에서 사용 된 plasmaspheric TEC의 바닥에 대한 더 낮은 고도는 전리층 영향의 오염을 야기 할 것이다.

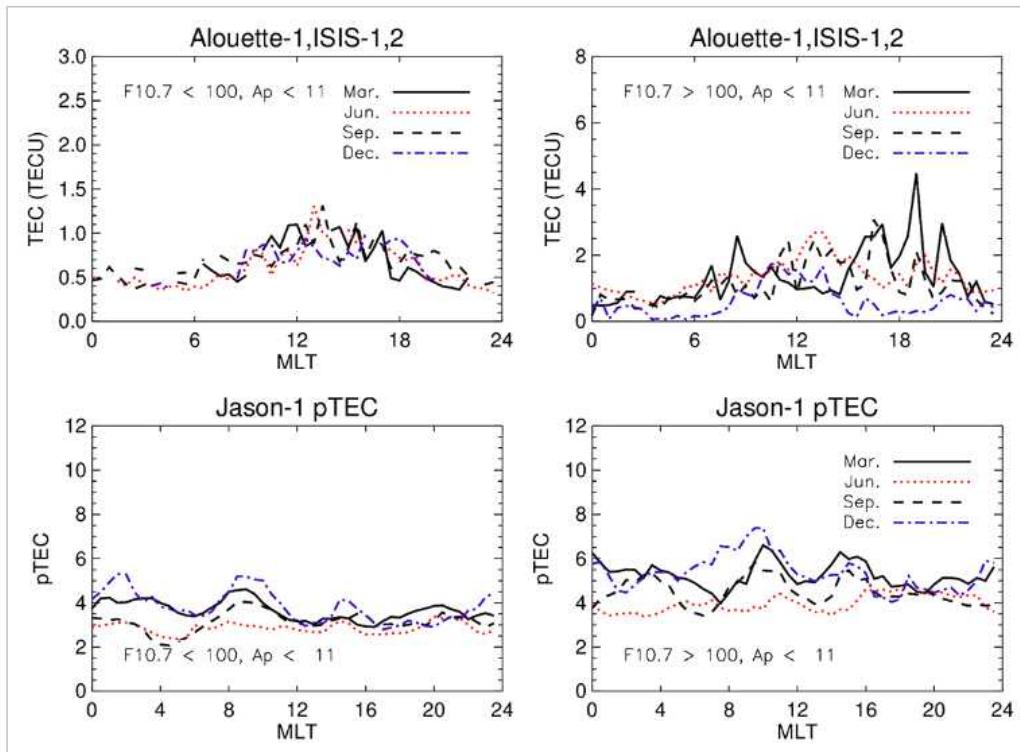


그림 29. tiTEC(상단패널)와 pTEC(하단패널)의 차이점

(10) 스웜 위성군 관측을 통한 저위도 밀도 불균일의 간섭 거리 측정

: Scale analysis of equatorial plasma irregularities derived from Swarm constellation (Earth, Planets and Space) Chao Xiong, Claudia Stolle, Hermann Lühr, 박재홍, Bela G. Fejer, Guram N. Kervalishvili

야간 저위도 지역의 플라즈마 밀도 불균일 현상은 이미 1920년대부터 그 존재가 보고되어 왔으나, 정작 두 개의 관측기가 얼마나 서로 떨어져 있으면 두 관측 결과가 간섭성을 읽는지에 대한 연구는 진행된 바 없다.

본 연구에서는, 유럽 항공 우주국 위성군 스웜의 플라즈마 밀도 관측 자료를 이용하여, 저위도 야간 지역 플라즈마 밀도 불균일 지역의 간섭 거리를 측정한다. 연구 결과, 간섭 거리는 대략 경도 0.4도, 즉 동서방향으로 50 km정도임이 밝혀졌다.

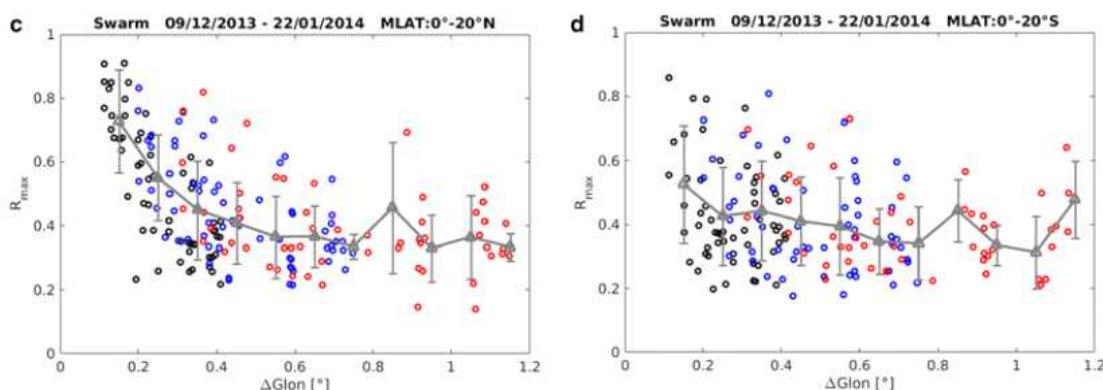


그림 30. 유럽 항공 우주국 위성군 스웜의 플라즈마 밀도 관측 자료를 이용하여 측정한, 저위도 야간 플라즈마 밀도 불균일 지역의 간섭 거리. 세로축 좌표 값이 0.5 부근일 때의 가로축 좌표 값이 간섭 거리에 해당

(11) 마티니즈의 논문, “적도와 오로라가 만난 밤”에 대한 첨언

: Comment on “The night when the auroral and equatorial ionospheres converged” by Martinis, C. et al. (J. Geophys. Res. Space Physics) 길효섭, Ethan Miller, Geonhwa Jee, 곽영실, Yongliang Zhang, Michi Nishioka

OI 630.0 nm의 방출량 고갈은 2013년 6월 1일에 발생한 자기장 폭풍의 주요 단계 (최소 Dst 지수 : -119 nT) 동안 멕시코 전역에서 탐지되었고, 이러한 방출 고갈은 적도 플라즈마 거품과 관련이 있다고 해석되었다. 거품이 중위도 배출 고갈의 원인 이었다면, 자기 적도에서 40° 이상의 자기 위도와 7,000km를 초과하는 극단적인 기포가 발생했을 것이다. 그러나 몇 가지 요인이 본 해석에 이의를 제기한다. 첫째, 멕시코에서 발견 된 방출 고갈은 서쪽으로 표류하는 반면 거품을 포함한 적도 전리층은 그날 밤에 동쪽으로 표류했다. 둘째, 중위도 방출 고갈은 지리적 자오선에 대해 서쪽으로 기울어졌지만, 서편향의 적도 기포는 확인되지 않았다. 셋째,

중위도 방출 고갈은 시간에 따라 점차 성장하였으나, 거품의 성장은 분명하지 않았다. 중위도 방출 고갈의 서편향 및 서향 전파는 그날 밤 미국에서 관측 된 중형 이동 전리층 방해(MSTID)의 특성과 일치한다. 따라서 멕시코를 통한 배출 고갈은 MSTID의 영향으로 해석 될 수 있다.

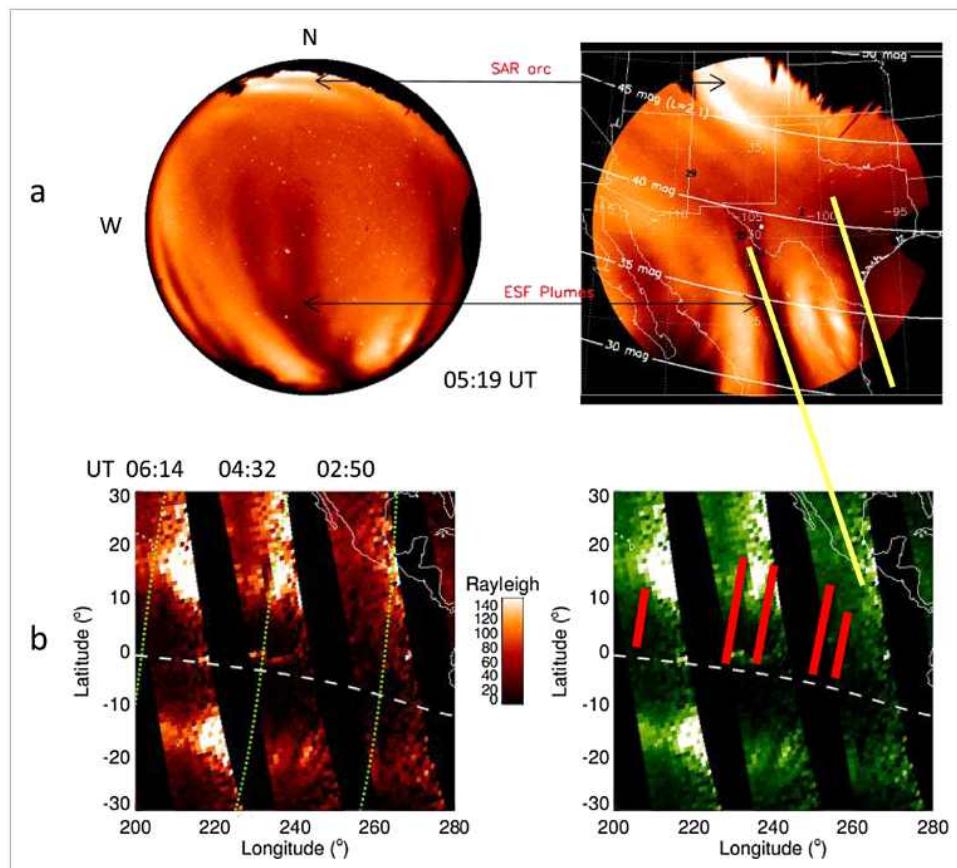


그림 31. 대기 적색광 감소 현상의 국지적 양상(상단패널)과 대륙적 양상(하단패널)

(12) 여름철 극지방 상부 중간권에서 관측된 비경면(non-specular) 유성 혼적에서 장시간 지속되는 방전에 대한 증거

: Evidence for Long-Lasting Electrical Leader Discharges in Non-Specular Meteor Trails Observed In the Summer Polar Upper Mesosphere (Research Inventory: International Journal of Engineering And Science) 이영숙, Sheila Kirkwood, 곽영실, 이재진

비정상적이고, 비경면적이고, 빠르게 움직이는 유성 혼적 에코는 90 km 부근의 여름 극지 상부 중간권에서 관측된다. 일반적으로 중위도에서는 자기력선에 정렬된 불규칙성(Field-aligned Irregularities, FAIs)이 비 경면 유성 혼적을 일으키는 반면, 극지방에서는 오랜 기간 지속되는 불규칙성이 유성 먼지에 의해 유지될 가능성이 있다. 비정상적인 유성 혼적은 87-93 km 고도에서 10.4 km의 경사 길이를 따라 3.3-6.4 km/s 속도로 하향 및 상향 전파되며, 중간에서 병합되어 8-10 초 동안 지속된다. 본 논문에서 우리는 방전이 이러한 유성 혼적을 일으킨다고 제안한다. 관측된 속도에 해당하는 수평 전류는 90 km 고도에서 최대 16.3 V/m로 추정된다. 빠

르게 움직이는 플라즈마 흔적의 장기간 병합과 번개 리더 과정 및 뇌우 위에 발생하는 제트 (< 400 ms)의 속도 (~104–105 m/s)에 비해 적당한 속도 모두가 극지방 상부 중간권에서 발생하는 새로운 형태의 유성 흔적 리더 방전임을 제안한다.

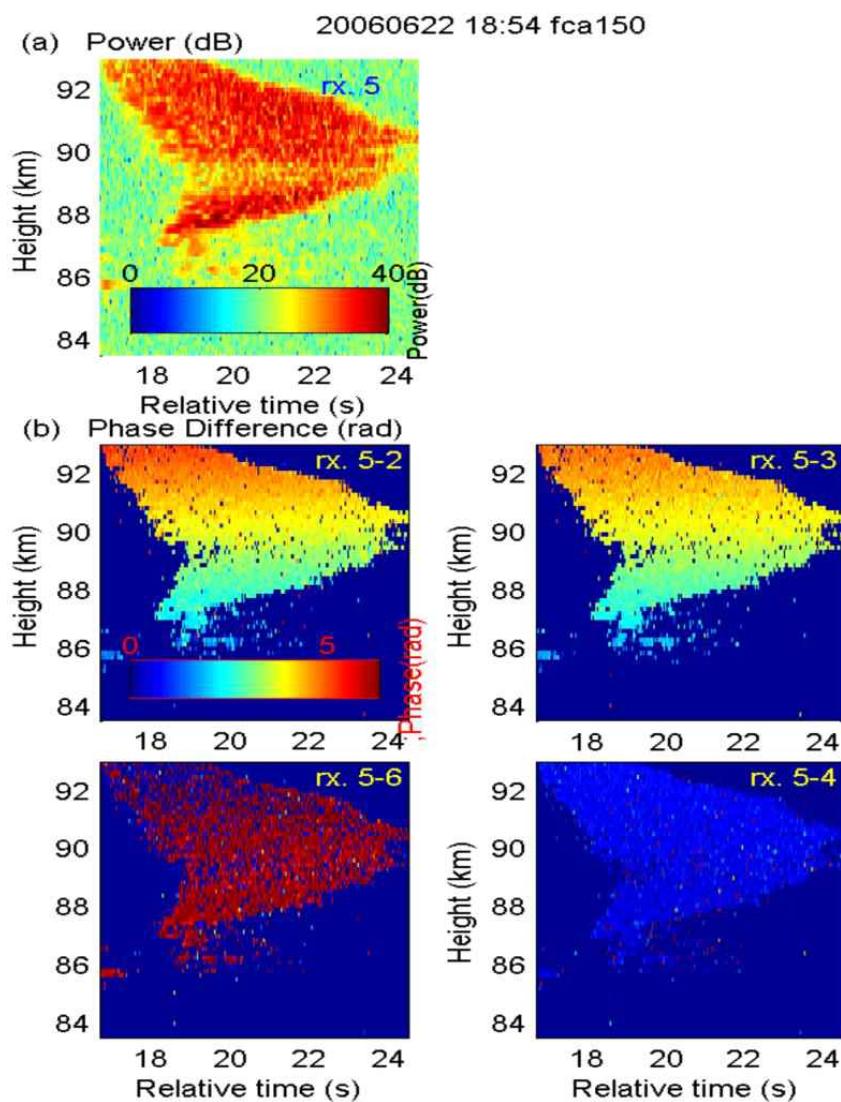


그림 32. (a) ESRAD 레이더로 관측한 비 경면 유성 흔적 에코, (b) 안테나 어레이를 이용해 관측한 비 경면 유성 흔적 에코의 phase difference

제 2 절 내태양계 소천체의 자전 및 표면특성 연구

가. DEEP-South

딥 사우스 관측은 KMTNet 외계행성 과제에 배정받은 시간 이외의 시간대에 이뤄지지만, 은하 중심(Galactic bulge)이 이를 아침에 뜨거나, 이를 저녁에 지는 기간에 망원경 시간의 일부를 배정받아 활용하기도 한다. 딥 사우스는 2015년부터 2019년까지 연간 총 13%의 KMTNet 관측 시간을 배정받았으며, 이를 온 밤(full nights) 기준으로 치면 관측소당 연간 45일, 네트워크에 대해서는 135일에 해당한다. 배정 시간 대부분은 충(opposition) 부근을 통과하는 NEA에 대한 지향관측(targeted photometry)에 활용되는데, 이것을 OC (Opposition Census)라고 부른다. OC 모드는 우선 km급 PHA에 집중하며, 광도곡선의 개수가 늘어남에 따라 sub-km급 PHA로 관측 대상을 바꾼다. 그 다음에는 km급 NEA를, 이어 sub-km급 NEA로 대상을 전환한다. 필터는 대부분 존슨 BVRI를 쓰지만, 연중 1주일여 기간 동안 CTIO에 한해 SDSS griz 필터를 쓴다. 대부분은 항성시 추적(sidereal tracking)으로 60초 노출(typical exposure)을 주는데, 이동천체의 움직임으로 인해 나타나는 궤적의 길이가 시상 크기(size of a seeing disk)를 넘지 않도록, 동시에 적정 수준의 신호대 잡음비(signal to noise ration, SNR)가 유지될 수 있도록 5초~120초 사이에서 조절한다.

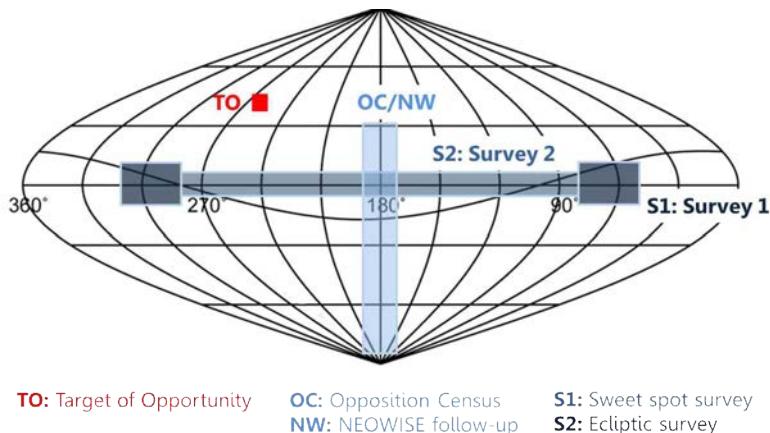


그림 33. DEEP-South의 5 가지 관측모드

딥 사우스 관측시간 일부는 소행성대와 카이퍼벨트(Kuiper belt) 천체의 자전 특성과 색지수, 즉 표면광물 특성을 조사하는데 쓰인다. 이것을 황도대 탐색(Ecliptic Survey=S2)이라고 부른다. 그 밖에 NEOWISE (Near Earth Object Wide-field Infrared Survey Explorer)(Mainzer et al. 2011) 후속관측 (NEOWISE follow-up, NW)과 TO (Target of Opportunity) 등이 있다. NW는 매주 JPL의 NEOWISE 팀이 보내는 NEOWISE 천체(NEO) 목록을 대상으로 한 후속측광 모드다. 지상 가시광 관측과 우주에서 적외선 관측을 동시에 수행한다면 반사율(albedo)을 정밀하게 측정할 수 있으며, 소행성 열 모델(thermal model)을 적용해 중요한 물리량 중 하나인 크기(size)를 높은 정밀도로 계산할 수 있다. 딥 사우스팀은 JPL NEOWISE 팀과 이러한 공동연구에 합의했다. 반면에, TO 모드는 팀 내부의 요구, 또는 국제천문연맹(International Astronomical Union, IAU)과, 하버드대 스미소니언천체물리연구소(Center for Astrophysics, CfA) 산하에 있는 소행성센터(Minor Planet Center, MPC)에서 긴급하게 요청하는 경우, 측성(astrometric) 또는 측광(photometric) 후속관측을 수행한다. S1(Sweet spot survey)은 일출직전 새벽하늘과 일몰 직

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

후 저녁하늘, 즉 항해박명과 천문박명 사이의 짧은 시간을 이용해 지구궤도를 통과하는 아텐(Atens), 아티라(Atiras=Inner Earth Objects, IEO) 종족 소행성을 발견하기 위해 계획 중인 관측모드다.

표 1. DEEP-South 관측 모드 (Moon et al. 2015)

Mode	Region	Description
OC	opposition	targeted photometry for characterization
NW	opposition	follow-up photometry of NEOWISE objects
S1	sweet spots	blind survey in search for Atens and Atiras
S2	ecliptic	blind survey for MBAs and KBOs
TO	-	target of opportunity observation

(1) 관측 스케줄러 및 파이프라인 개선

딥 사우스 관측과 자료처리는 DEEP-South Scheduling and Data Reduction System DS SDS라는 시스템을 통해 수행된다. 이것은 다시 헤드쿼터(Headquarters, HQ)와 자료처리(Data Reduction, DR)로 나뉜다. HQ는 DSS (DS Scheduling System)와 DB (DS Database)와 C&M (Control and Monitroing)으로 이뤄진다. 반면에 DR은 BI (Basic Inspection), MODP (Moving Object Detection Program)와 ASAP (Asteroid Spin Analysis Package), DRCM (Data Reduction & Monitor)로 구성된다. BI는 영상의 품질을 평가, 활용 가능한 영상을 판별, 선택하는 작업을 수행하는 한편, MODP는 BI 과정을 통과한 영상 가운데 이동천체를 검출, 식별해 다음 처리과정으로 넘긴다. ASAP은 이동천체를 대상으로 광도곡선을 추출한다. DRCM은 이러한 모든 과정을 감시, 관리, 통제한다. 단, 아래에 제시된 S/W 서브시스템은 2016년 10월 현재 아직 완성된 상태가 아니며, 구축, 시험, 개선이 단계별로 이뤄지고 있다는 점을 강조해 둔다. 이처럼 관측일정 배정과 이동천체 검출, 측성해(WCS solution) 도출, 측광자료 처리 및 분석의 전 과정을 자동화하는 예는 본 과제가 최초라는 점을 여기에 밝힌다.

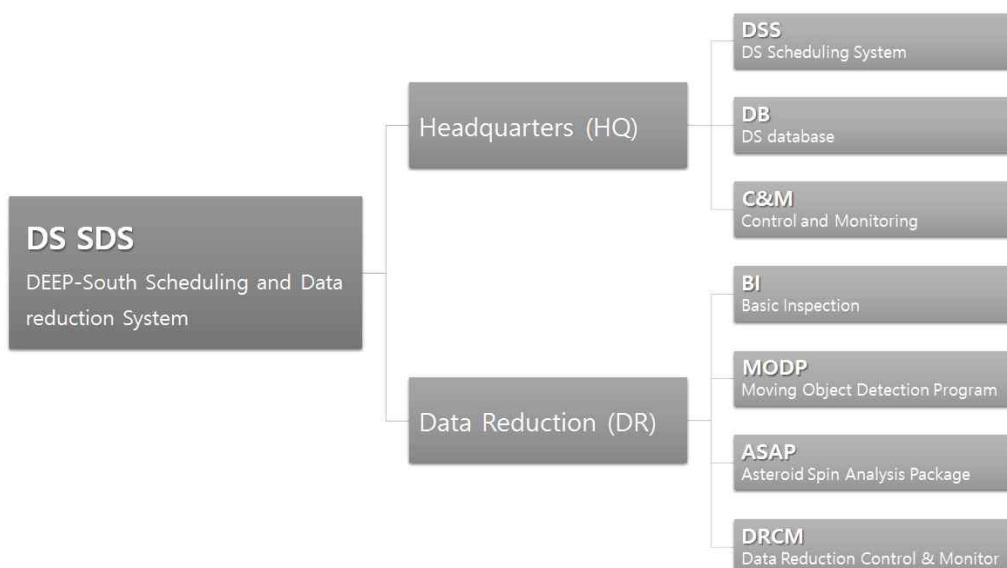


그림 34. DEEP-South Scheduling and Data Reduction System의 구조

HQ는 KMTNet 관측소 DB, 매일 갱신되는 NEA DB, 대상 천체의 정밀궤도력 목록인 TET (Target Ephemeris Table) DB, 즉 TET DB, 타겟필드(Target Field, TF) DB, 밝은 별 DB (Bright Star DB), 관측시간 DB (Observation Time DB), 시스템 config DB (System Configuration DB)와 함께 자료처리결과 DB (Data Reduction DB), 처리결과 모니터링 DB (Monitoring DB), 그리고 사용자 DB (USer DB)와 같이 구성된다. 관측소 DB에서 시스템 config DB에 이르는 정보를 바탕으로 스케줄러는 관측대상을 선정하고 관측 스케줄을 작성, 관측명령서(Observation Command File, OCF)를 생성한 뒤 이를 KMTNet 남반구 3개 관측소 관측자와 KMTNet 관계자, 딥 사우스 팀원들에게 자동으로 보낸다.

표 2. Observation Command File의 예

#	DateTime (UT)	Object1	Object2	R.A.	Dec.	Filter	Exp_t	TF	Mode
=====									
2016 09 10 035500		1918DB	S12340-OC	23:09:46.0	-19:00:00.0	R	20	S12340	OC
2016 09 10 035720		1918DB	S12340-OC	23:09:46.0	-19:00:00.0	R	20	S12340	OC
2016 09 10 035940		1918DB	S12340-OC	23:09:46.0	-19:00:00.0	R	20	S12340	OC
2016 09 10 040200		1992AA	S16010-OC	01:04:43.1	-11:00:00.0	R	120	S16010	OC
2016 09 10 040600		1992AA	S16010-OC	01:04:43.1	-11:00:00.0	R	120	S16010	OC
2016 09 10 041000		1992AA	S16010-OC	01:04:43.1	-11:00:00.0	R	120	S16010	OC
2016 09 10 041400		1918DB	S12340-OC	23:09:46.0	-19:00:00.0	R	20	S12340	OC
2016 09 10 041620		1918DB	S12340-OC	23:09:46.0	-19:00:00.0	R	20	S12340	OC
2016 09 10 041840		1918DB	S12340-OC	23:09:46.0	-19:00:00.0	R	20	S12340	OC

위 자료는 2016년 9월 10일 CTIO 관측을 위한 OCF이다. 관측 시작시간과 소행성, 타겟필드 이름, 적경, 적위, 필터, 노출시간, 관측 모드 순으로 구성됐다. OCF는 스크립트 관측을 위해 개발됐으며, KMTNet 개발 운영팀과의 협력을 통해 2016년 중 자동관측이 이뤄질 수 있도록 코딩이 진행되고 있다. 딥 사우스 관측은 관측대상이 움직이는 데다 보정천체 (변광하지 않는 주변별들)들이 계속 바뀔 뿐 아니라, 필터 교환, 노출시간 변화 등 관측방법, 과정이 복잡하기 때문에 관측자의 피로가 가중돼 잦은 실수 요인이 되기도 한다. 스크립트 관측은 이를 방지할 수 있으며, 자료 생산성을 극대화할 수 있다.

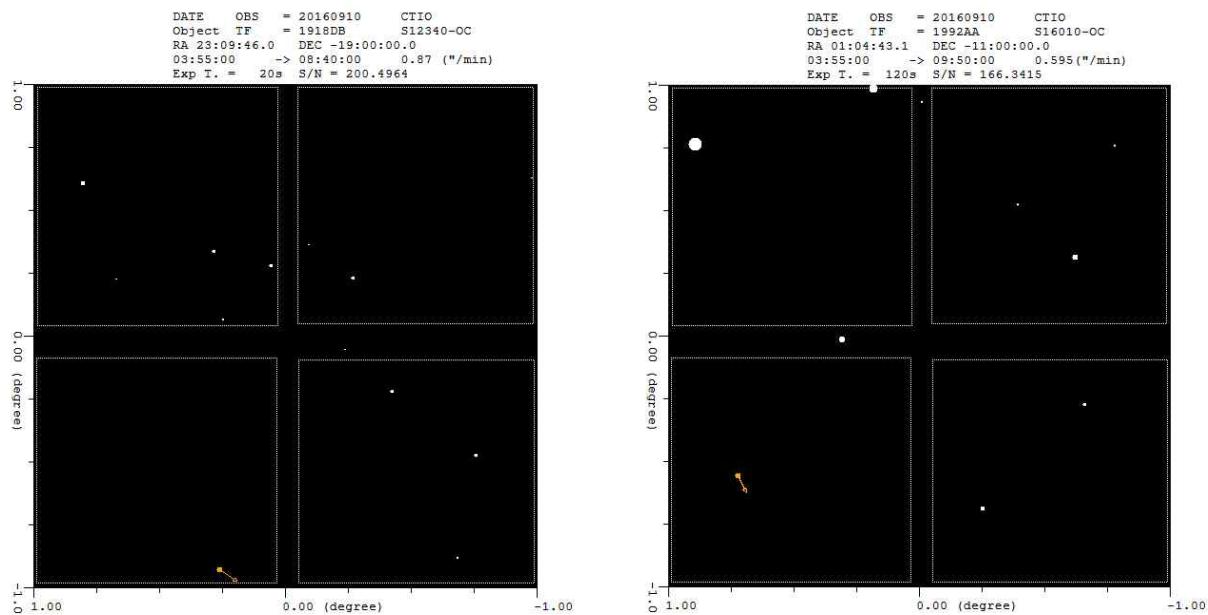


그림 35. Finding Chart의 예

딥 사우스팀은 연구자들이 사전에 대상 천체가 지나가는 타겟필드와 이동방향, 크기를 사전에 점검하고 OCF와 비교, 오류를 점검하는 것은 물론, 현지 관측자의 편의를 도모하기 위해 관측 지역지도(Finding Chart)를 관측 대상후보 소행성들에 대해 우선순위와 스케줄 적합성, 남는 관측시간 활용에 대한 검토와 판단, 추가 관측 가능한 소행성 재선별 등에 관한 알고리즘을 그림 36에 표현했다. 자동생성, OCF 수신자들이 이메일을 통해 받아볼 수 있도록 했다.

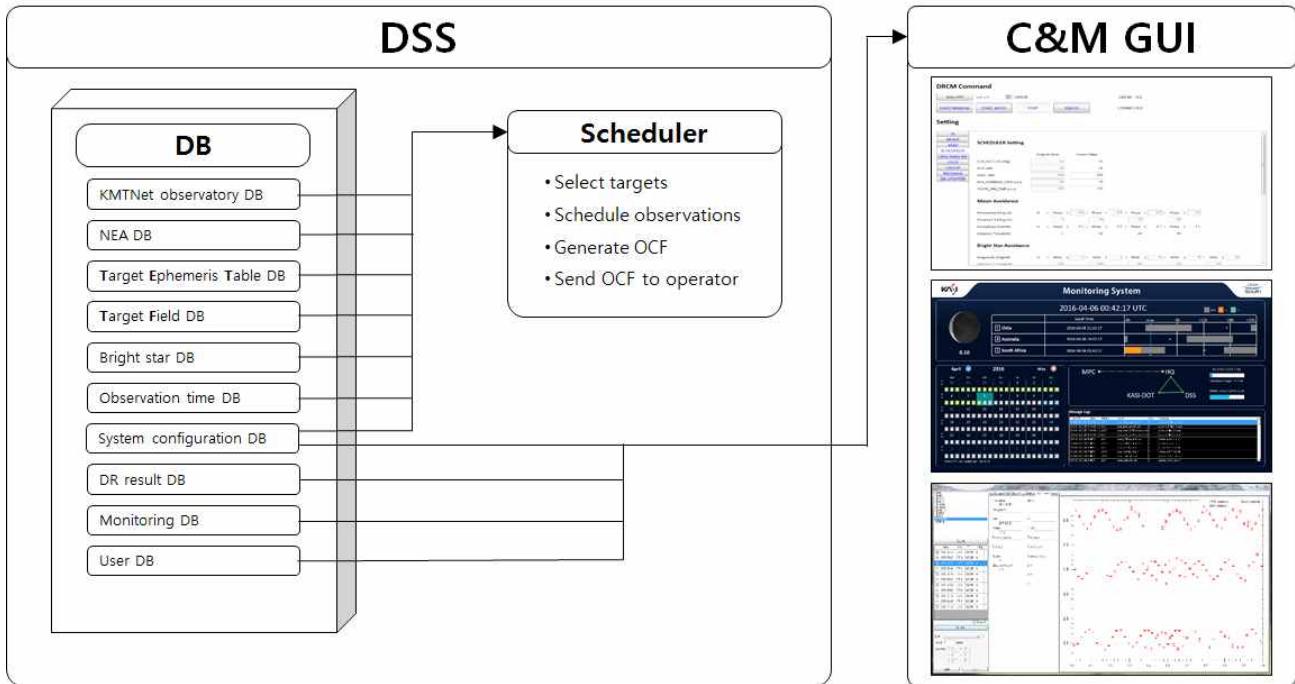


그림 36. DSS와 C&M의 GUI

그림 36는 DSS와 C&M의 GUI를 나타낸다. 한편 데이터베이스 관리시스템 (DBMS)은 아래와 같다. 설정 DB, 소행성에 관한 각종 DB, 자료처리 결과 DB, 모니터링 DB, 사용자 DB와 같이 구

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.
분되며, 여러 가지 하위 DB들이 그 아래에 개신, 관리, 보관, 활용된다.

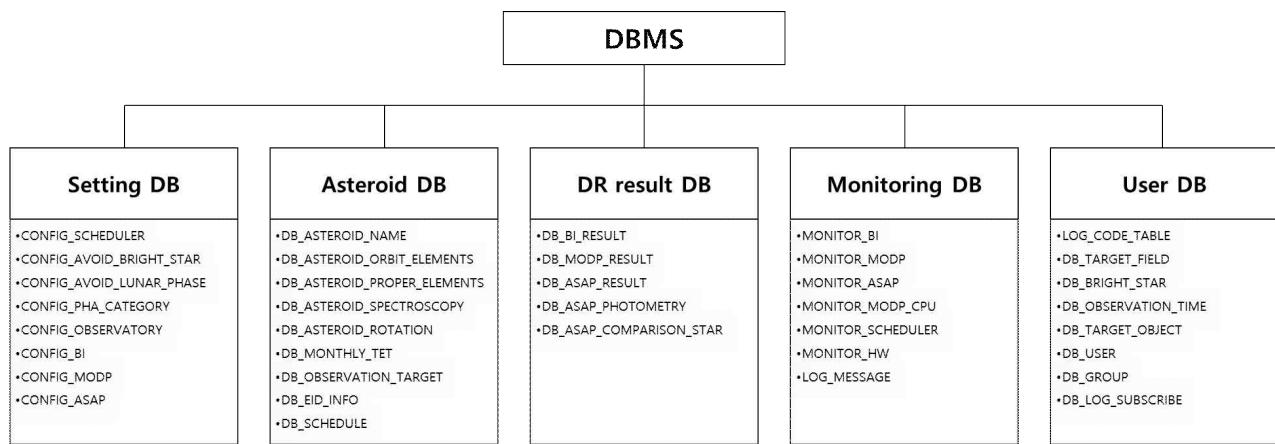


그림 37. DSS의 각종 데이터베이스

한편, 관측 스케줄러는 아래와 같은 방식으로 구동된다. 국제소행성센터(Minor Planet Center, MPC)와의 합의에 따라 MPC서버에는 매달 15000개가 넘는 NEA들에 대한 월별 TET 폴더가 자동 생성되며, 스케줄러는 매월 25일경 월별 TET (Monthly TET)를 자동으로 가져와, NEO DR를 자동 개신한다. 그 다음, 스케줄러는 R 안시등급이 20등급보다 밝은 천체를 추출, 다시 MPC 서버에 계산을 요청, 일별 TET를 가져온다. MPC 계산 서버는 KMTNet 3개 관측소들에 대한 정밀궤도력을 계산하고 스케줄러는 이를 토대로 최종 TET를 작성한다. 이후 스케줄러는 km급 PHA, NEA 등과 같이 대상을 분류하며, 관측 가능한 NEA 목록을 만든다. 다음은 대상 천체가 관측 윈도우에 들어가는지 점검하는 과정이다. 먼저 낮 시간에 보이는 천체를 제거하고 고도제한, 신호 대 잡음비, 달과의 각거리, 18k CCD 가장자리 또는 캡에 걸리는지 등을 판별한다. 그리고 밝은 별과의 각거리를 계산해 고스트나 블리딩(bleeding)의 영향을 최소화한다. 관측가능 최소시간으로 설정된 2시간보다 관측 가능시간이 짧은 천체는 목록에서 제외한다. 이로써 관측 가능한 천체 예비목록이 완성된다. 그 밖의 다른 요소들을 고려해 스케줄을 미세 조정한 뒤, OCF와 관측지역 지도(Finding Chart, FC)를 작성, 관계자들에게 자동 발송한다. 이러한 과정을 그림 38에 순서도로 나타냈다.

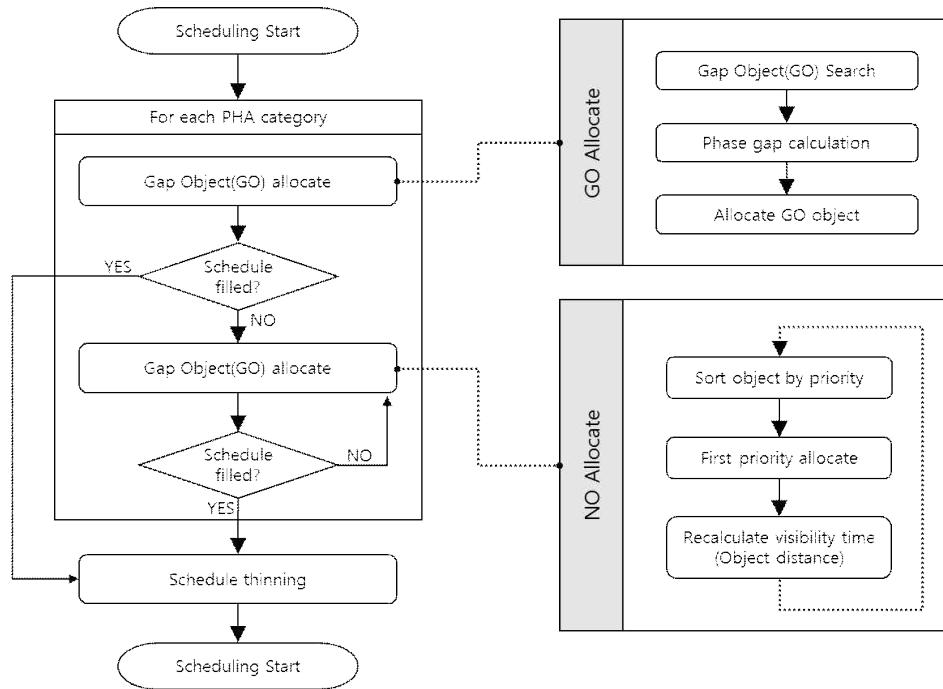


그림 38. 관측 스케줄링 흐름도

관측 대상후보 천체들에 대한 우선순위와 스케줄 적합성, 남는 관측시간 활용에 대한 검토와 판단, 추가 관측이 가능한 소행성 재선별 등에 관한 알고리즘을 그림 39에 표현했다.

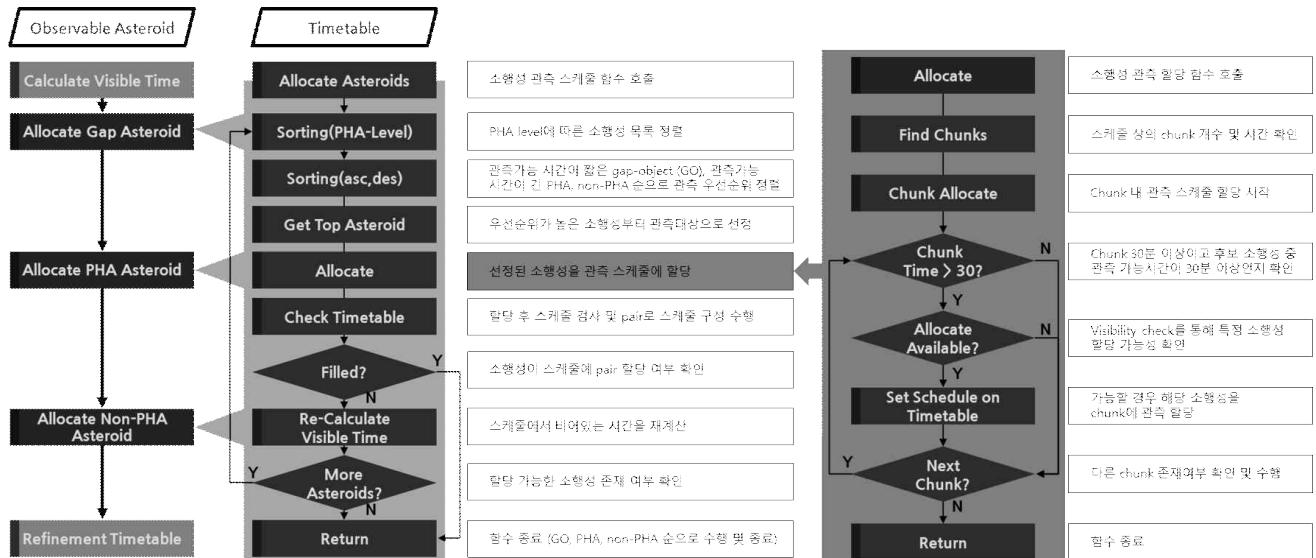


그림 39. 관측 스케줄링에서 우선순위와 적합성 등을 판단하는 흐름도

그 이후, 관측 가능한 소행성의 짹, 또는 2개 이상의 소행성들에 대한 목록을 추출해 KMTNet 3개소에서 관측 가능한지 여부 등을 종합, OCF와 FC를 작성하는 과정은 그림 40과 같다.

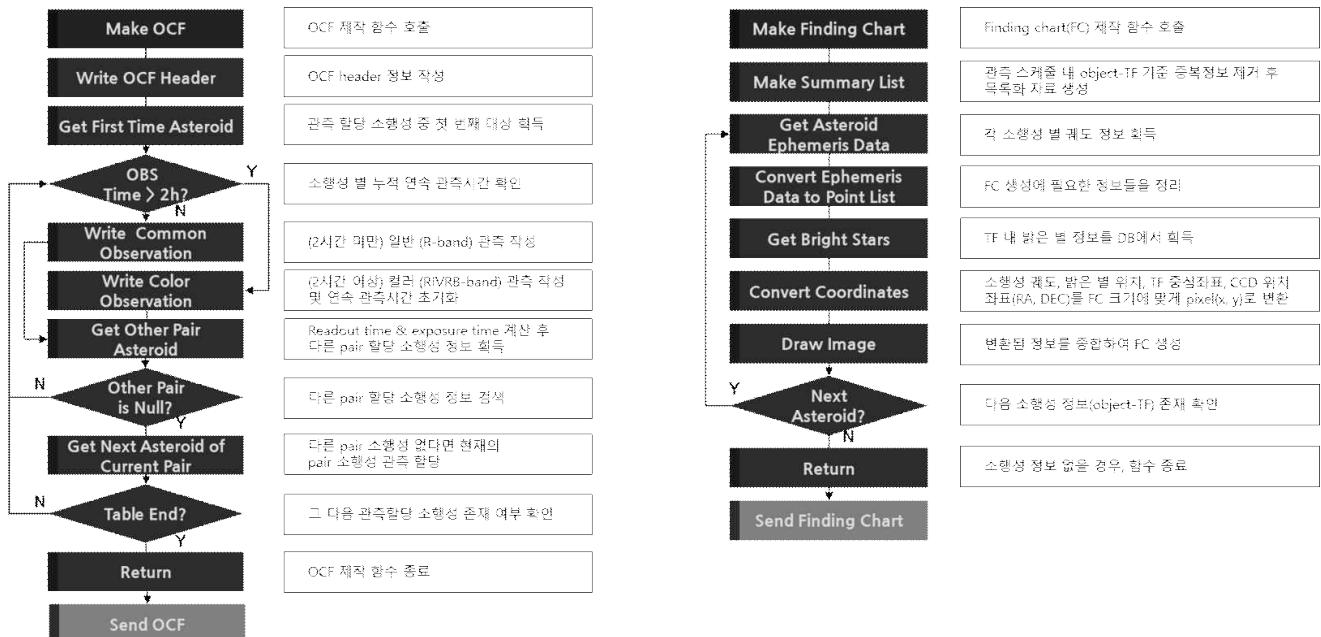


그림 40. OCF와 FC를 작성하는 과정

DRCM 제어서버는 아래와 같은 작업을 수행한다. 즉, fits 파일을 내려 받아 관측 날짜와 함께 .complete 파일인지의 여부를 확인한다. 그 다음 데이터 서버에서 fits 파일을 내려 받고 BI를 수행한다. MODP를 통과한 영상은 1k 영상으로 트리밍 되며, triplet 영상이 생성된다. 그리고 MODP를 수행, 이동천체를 검출하고 MPC-Checker를 이용, 새로운 천체인지, 기존 천체인지 여부를 판별한다. MODP를 마친 천체에 대해서는 ASAP pre-processing을 거쳐 DAGMan이 ASAP와 post-ASAP 과정을 수행해 해당 천체에 대한 광도곡선을 생성한다.

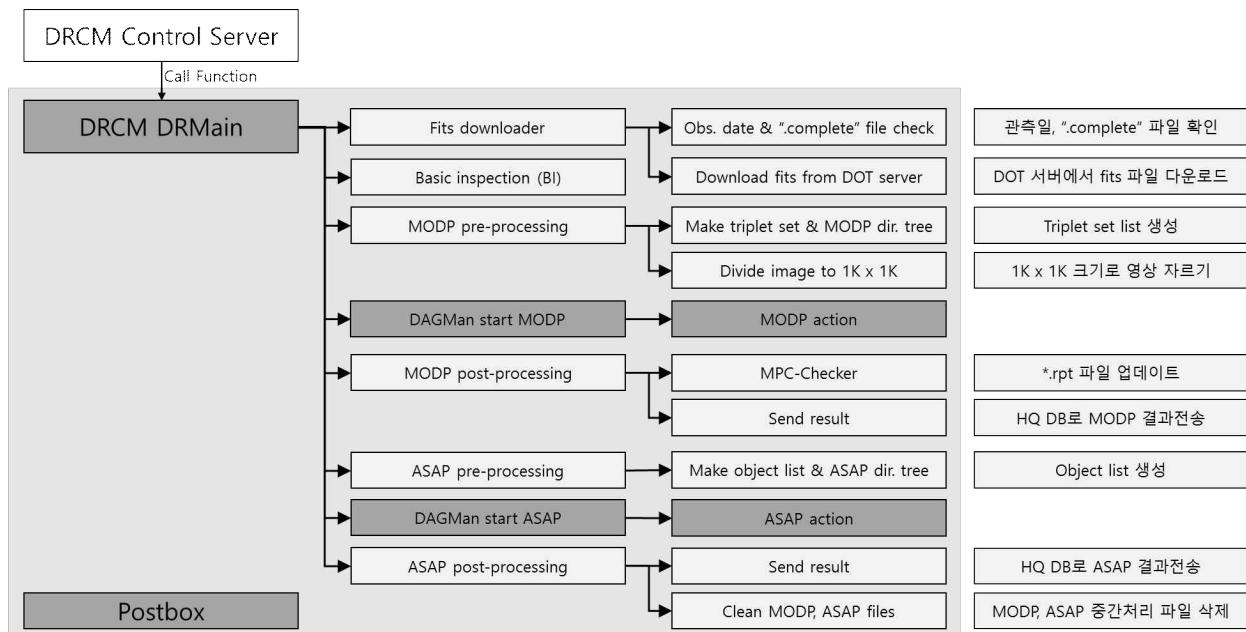


그림 41. DRCM의 MODP-ASAP 과정을 제어하는 구조도

(2) 분산 컴퓨팅 시스템 이관 및 백업 시스템 구축

우리는 15,000여 개 NEA에 대한 정밀궤도력을 계산해 관측일정을 생성할 뿐 아니라, KMTNet으로 하루 밤 최대 1.4TB의 대용량 자료를 생산하기 때문에 관측일정 수립과 자료처리가 자동으로 수행되어야 한다. 2016년에는 탐사관측 전용 스케줄러와 파이프라인에 대한 수정 작업을 수행했으며, 위탁연구를 통해 KISTI와 다음과 같은 연구를 진행했다.

자료처리 도구 이전 및 구동 정상화

2015년 딥 사우스 자료처리를 담당한 KISTI의 카이로스(KAIROS) 클라우드 전산자원에서 구동되던 모든 작업을 천문연의 E-Trojan 서버에서 효율적으로 구동하기 위해 각종 작업환경에 대한 이관작업을 수행했다. 이관 범위는 대용량 자료처리 핵심 분석도구인 MODP와 ASAP를 구동하기 위한 DAGMAN, HTCondor와 같은 분산처리 환경은 물론, DAGMAN 웹 인터페이스이며, KISTI는 DRCM 연동에 대한 기술지원을 수행했다.

자료저장 시스템 구축

로컬 관측자료처리 (MODP)와 정밀 관측자료처리(ASAP) 도구들의 구동 결과 얻는, 자료의 특성이 다른 자료에 대한 백업과 자료관리 시스템을 구축하는 한편, 천문연에 도입, 설치되는 저장장치 설비와 이를 운영하기 위한 네트워크 파일서버에 대한 기술 지원을 수행했다. 또한 대용량 자료의 수집, 저장, 관리, 정보 추출을 위해 적용가능한 파일 및 DB 기술분석을 수행했으며, 관측자료의 양에 무관하도록, 확장성 있는 자료관리 시스템을 구축했다.

자동화 시스템 안정화 지원

대용량 관측자료의 효율적인 처리를 위해서는 작업과정(work flow)에 분산처리를 요구하는 단계가 있으며, 이를 위해 대규모 분산처리를 지원하는 계산자원의 구축 및 활용이 중요하다. KISTI는 새로운 서비스 환경인 E-Trojan 계산 클러스터, HQ 서버 및 자료저장/관리 시스템의 연동을 통해 안정적인 서비스가 가능하도록 이에 필요한 기술을 지원했다.

(3) 소행성의 물리적 특성 규명

2015년 2월 시작된 딥 사우스 시험관측 이후 2016년 4월까지 KMTNet 3개 관측소에서 얻은 관측자료 가운데 2016년 8월말 기준 우선적으로 자료처리가 완료된 자료에 대해 분석을 시도했다. 실제 관측은 관측 스케줄러를 이용해 계획됐고 현재 시점까지 개발된 MODP와 ASAP를 활용해 자료처리를 수행했다.

당초 2015년과 2016년의 연구목표는 물리적 특성 규명건수 각 40건씩 총 80건에 해당하며, 연구기간에 비례, 2016년 10월말 기준으로 총74개 천체에 대한 물리적 특성 규명이 이뤄졌다. 소행성의 물리적 특성은 자전주기와 진폭, 색지수를 기준으로 했다. 물론, 2016년 10월말까지 얻은 관측자료를 이용해 구한 자료이기 때문에 후속관측과 분석을 통해서 정밀도가 개선될 수 있다. 일반적으로 소행성의 광도곡선은 3-4회, 또는 그 이상의 충(opposition)을 통과하면서 이뤄진 관측을 통해 완성되며, 이 때문에 예비 진폭은 구했지만, 주기는 하한까지 구한 것도 일부 있다. 따라서 향후 후속관측과 자료처리를 진행할 경우, 지속적으로 그 개수가 늘어날 것으로 기대한다.

표 3. 72개 NEA의 새로 밝혀진 물리적 특성

연번	소행성 이름	자전주기(h)	진폭	색지수			
				B-V	B-R	B-I	R-I
1	1948EA	>0.4	0.1	-	-	-	-
2	1948OA	>1.4	0.5	-	-	-	0.1224
3	1950LA	7.24	0.8	-	-	-	-
4	1959LM	3.56	0.2	-	-	-	-
5	1968AA	2.87	0.14	-	-	-	-
6	1977RA	5.84	0.8	0.558	1.3861	1.296	-0.0901
7	1983RB	>2.7	0.2	0.5647	1.4151	1.2735	-0.1416
8	1988VN4	>1.7	0.2	-	-	-	-
9	1990KA	>0.7	0.1	-	-	-	-
10	1990MU	14.256	0.6	-	-	-	-
11	1990TG1	>1.3	0.1	-	-	-	-
12	1990UQ	6.65	1	-	-	-	-
13	1991CS	2.45	0.25	0.9829	1.8619	1.789	-0.0729
14	1992AC	>2.3	0.1	-	-	-	-
15	1993EA	3.73	0.3	0.5459	1.0264	0.9684	-0.058
16	1993HA	>0.5	0.35	1.2843	1.8348	1.8782	0.0434
17	1993OM7	>0.7	0.2	-	-	-	-
18	1994AW1	2.553	0.3	-	-	-	-
19	1994CN2	10.66	0.4	-	-	-	-
20	1996DH	>0.8	0.15	-	-	-	-
21	1996HW1	>3.2	0.8	-	-	-	-
22	1997WU22	>0.9	0.6	0.9455	1.8008	2.0727	0.2719
23	1997XF11	>2	0.1	-	-	-	-
24	1998BP26	>0.4	0.1	-	-	-	-
25	1998ML14	>3.6	0.1	-	-	-	-
26	1998MQ	>5.4	0.4	-	-	-	-
27	1998SS49	>0.3	0.1	-	-	-	-
28	1999AR7	>1.5	0.1	-	-	-	-
29	1999FK21	>1	0.12	-	-	-	-
30	1999GJ2	>4.4	0.1	-	-	-	-
31	1999JM8	>2	0.1	-	-	-	-
32	1999JV6	>3.3	0.2	0.7843	-	1.4575	-
33	1999SL5	2.93	0.1	-	-	-	-
34	2000BJ19	>0.4	0.1	-	-	-	-
35	2000CH59	>0.7	0.2	-	-	-	-
36	2000CN101	>1.8	0.15	-	-	-	-
37	2000DM1	>0.8	0.2	-	-	-	-
38	2000DP107	2.51	0.2	-	-	-	-
39	2000ED104	>2.7	0.1	0.3653	1.3805	1.2502	-0.1303
40	2000EX106	>0.1	0.1	-	-	-	-
41	2000EZ148	>0.9	0.1	-	-	-	-
42	2000FL10	>1	0.1	-	-	-	-
43	2000NF5	>2.4	0.1	-	-	-	-
44	2000QW69	>0.7	0.15	-	-	-	-

연번	소행성 이름	자전주기(h)	진폭	색지수			
				B-V	B-R	B-I	R-I
45	2000VE62	>2.8	0.4	-	-	-	-
46	2000YL29	>1.4	0.1	-	-	-	-
47	2001KQ1	>4.3	0.6	-	-	-	-
48	2001KY66	>0.2	0.1	-	-	-	-
49	2001VG5	>0.9	0.1	-	-	-	-
50	2001XR31	>3.9	0.3	1.5689	2.2219	1.9759	-0.246
51	2001XU10	>1.6	0.2	-	-	-	-
52	2002AJ29	10.78	0.4	0.6024	1.4897	1.3354	-0.1543
53	2002EZ11	>3.5	0.15	1.0838	1.9602	1.5628	-0.3974
54	2002FB3	6.55	0.2	-	-	-	-
55	2002GT	3.76	0.4	-	-	-	-
56	2002QE15	>3	0.1	0.9707	1.8643	1.8532	-0.0111
57	2003MT2	4.25	0.25	-	-	-	-
58	2004DV24	>1.4	0.4	-	-	-	-
59	2004VA64	>0.2	0.05	-	-	-	-
60	2006YT13	2.45	0.2	0.6081	1.5097	1.3658	-0.1439
61	2007GG	>0.6	0.8	-	-	-	-
62	2008OB9	>2	0.1	-	-	-	-
63	2008UD1	>2.3	0.8	0.3935	1.2573	1.115	-0.1423
64	2010BB	>3.4	0.6	0.7395	1.5895	1.4384	-0.1511
65	2011AL52	4.16	0.5	-	-	-	-0.0786
66	2011UW158	0.61	0.45	-	-	-	-
67	2012SW20	>2.5	0.4	-	-	-	-
68	2013BY45	>1	0.1	-	-	-	-
69	2015OL35	>0.6	0.2	-	-	-	-
70	2015TB145	3.19	0.1	-	-	-	-
71	2015XR128	>0.1	0.1	-	-	-	-
72	2016DW1	>2.7	0.2	-	-	-	-
73	1999YR14	4.01	0.7	-	-	-	-
74	1987KF	7.38	0.2	-	-	-	-

나. KEEP-North

우리는 생성시점이 비교적 짧은 밥티스티나 소행성종족(Baptistina Asteroid Family, BAF)에 대한 관측연구를 진행하고 있다. 이들은 생성 직후 충돌과 역학적 진화를 충분히 겪지 않았기 때문에 태양계 초기의 모습을 연구하는데 핵심 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 이처럼 생성연대가 다른(old/young-type) 소행성종 연구는 태양계의 형성과 진화 과정을 이해하는데 핵심이 된다. KEEP-North 연구는 아래와 같이 두 가지 방향으로 진행되고 있다.

첫째, 광도곡선으로부터 구한 자전주기와 소행성의 크기, 형상과의 관계를 이용한 짧은 소행성 종족 특성 조사이다. 오래된 종족의 경우 해당 종족 천체들의 자전주기 분포는 오랜 기간에 걸쳐 태양광에 의한 비중력적인 힘인 유크(YORP: Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack)의 영향을 받아 자전속도가 가속 또는 감속됐기 때문에 충돌 시뮬레이션과 실험실 데이터를 통해 얻은 충돌 직후 자전주기 분포(Maxwellian)와의 차이를 확인할 수 있다. 비교적 짧은 소

행성 종족에 속하는 밥티스티나, 카린(Karin)의 자전주기 분포를 통해 우리는 비중력적인 힘이 태양계 진화에 미치는 영향에 대해 정량적으로 접근할 수 있으리라 기대한다. 또 광도곡선의 진폭을 바탕으로 소행성의 형상을 유추할 수 있으며, 등급 표준화를 통해 크기를 알아내면 자전주기-크기-형상 간의 관계를 알아낼 수 있다. 이 3개의 변수들의 관계로부터 우리는 소행성 종족이 생성 당시에 충돌 에너지가 어떻게 구성 소행성들의 회전 에너지로 전달이 됐는지 유추해 볼 수 있다(Pravec et al. 2002).

둘째, 기존의 잘 관측된 소행성들에 대한 추가 관측을 기반으로 계산한 자전축 방향 및 형상을 이용한 비중력적인 힘의 특성 조사이다. 대부분의 소행성 종족을 고유 궤도 장반경과 절대등급을 축으로 그림을 그리면 역삼각형 형태의 V-모양으로 나타난다(Vokrouhlicky et al. 2006, Kim et al. 2014). 이는 야르코브스키(Yarkovsky) 효과에 의한 것으로 소행성의 자전 방향에 따라 궤도 장반경이 변하면서 생기는 현상이다. 이 V-모양의 퍼진 정도가 소행성 종족의 생성연대를 추정할 수 있는 나이 지시자가 될 수 있는데, 현재 사용되는 야르코브스키 모델에는 자전속도와 회전축, 반사율, 형상 등 많은 부분을 가정에 의존해 계산하기 때문에 소행성 종족 나이 계산에서 오차가 크게 나타난다. 기존 광도곡선 관측이 이루어진 소행성들(LCDB)과 천문연 산하 관측시설(보현산, 소백산, 레몬산 천문대)의 장기 관측과제로 선정된 “국제 공동 관측 캠페인을 통한 소행성 종족의 궤도진화 연구”를 통해 수집되는 광도곡선들을 통합, 더 많은 소행성의 자전축 자료를 얻는다면 우리는 소행성 종족 연구자들 사이에 논란이 되고 있는 생성 연대에 관한 중요한 단서를 얻어낼 수 있을 것으로 기대하고 있다.

위와 같은 연구를 진행하는데 가장 기본이 되는 것은 소행성 시계열 측광 관측을 통한 광도곡선 획득이다. 광도곡선으로 얻는 물리량은 자전주기와 소행성의 장축과 단축의 비율을 나타내는 광도곡선의 진폭이다. 우리는 보현산, 소백산, 레몬산 천문대에 설치된 천문연 산하의 관측시설 뿐만 아니라 태국 국립천문대 2.4m 망원경, 터키 국립천문대 1m 망원경, 미국 맥도널드천문대 2.0m 망원경 등을 활용, BAF의 시계열 측광 관측을 수행, 아래 표와 같이 20개의 소행성의 자전주기와 형상 축비를 결정했다. 2016년 10월 기준으로 2016년 연구목표인 30개 BAF 소행성 가운데 80%에 해당하는 소행성들에 대해 관측은 물론, 광도곡선 분석을 수행했다. 그 결과는 아래 표와 같다. 이 중에서 대표적인 광도곡선 4개를 아래 그림에 나타냈다. 모든 광도곡선은 각각의 자전주기로 중첩시킨(folding) 자전면(rotational phase) 축과 밝기변화는 차등측광 방법을 통해서 구한 비교등급(differential magnitude) 축으로 표현된다. 우리는 이에 대한 추가 관측자료 확보를 위해 2016년 9월부터 12월까지 보현산천문대에서 관측을 수행하고 있으나, 아래와 같이 날씨, 기기 문제 등으로 인해 9월~10월 기간 중에는 추가 자료획득에 실패했다. 이를 정리하면 다음과 같다. 즉, 9월 19일~22일의 관측기간 중에는, 19일-습도 100%, 20일-마운트 문제 및 습도 >95%, 21일~22일-습도 100%와 같은 원인으로 인해 관측자료를 얻지 못했다. 이어, 10월 19일~27일의 관측기간 중에는, 19일~25일-습도 100%, 26일-3시간 관측 후 안개로 flat field 획득 불능, 27일-총 5:30 관측 후 안개로 flat field 획득 불능과 같은 원인으로 인해 과학적으로 의미 있는 자료를 얻지 못했다. 이 같은 이유로 인해 추가자료 확보에 실패했다.

표 4. BAF 소행성의 자전주기와 형상 축비

소행성 이름	자전주기(hr)	형상 축비(a/b)	소행성 이름	자전주기(hr)	형상 축비(a/b)
1980TA	6.0	1.51	2000RC5	8.0	1.41
1992UT3	4.7	1.25	2000WY87	6.0	1.19
1997EK35	9.0	1.06	2001CP39	6.7	2.75
1999FP36	5.13	1.06	2001GU3	6.0	1.11
2000CK2	4.79	1.42	2001ML14	5.6	1.12
2000DX106	3.16	1.29	2001VO59	5.3	2.14
2000GB100	2.64	1.18	2002CA2	5.5	1.11
2000JH14	16.1	1.07	2004TU214	4.35	1.61
2000KB34	9.22	1.55	2076T-2	4.7	2.05
2000LA15	3.04	1.33	3173T-2	5.3	2.11

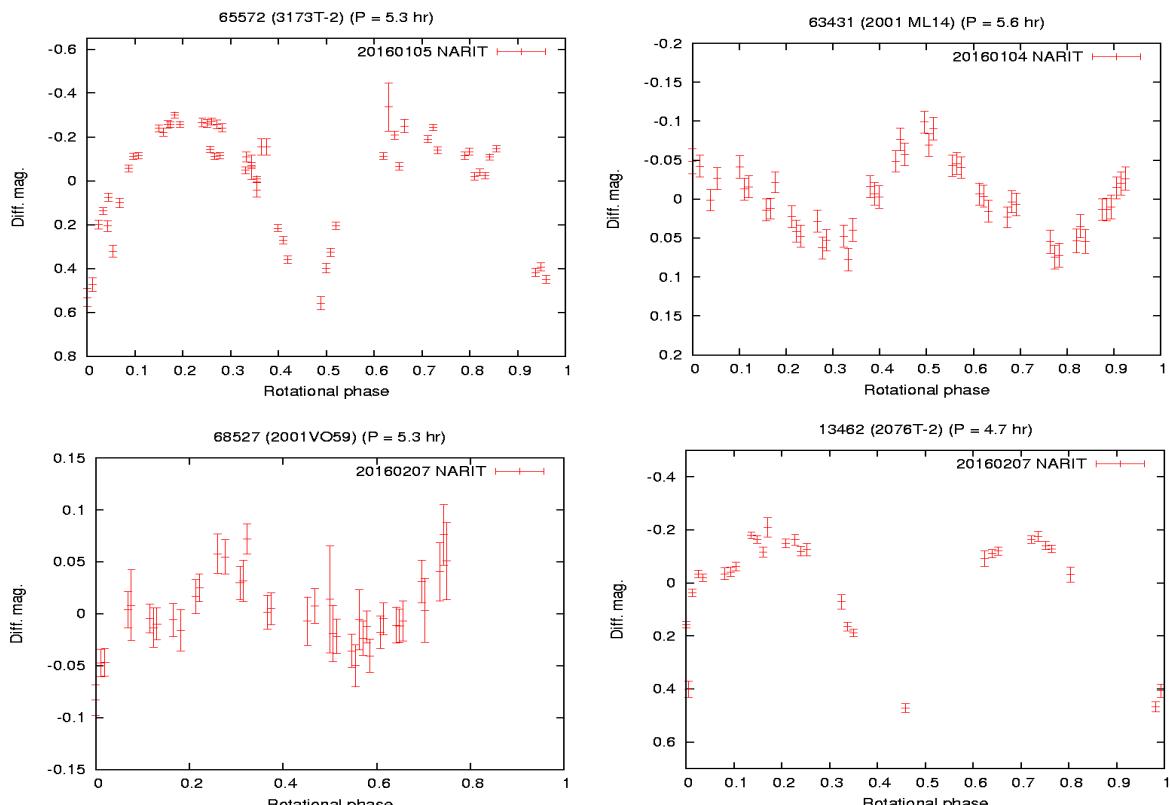


그림 42. BAF 소행성의 광도곡선의 예

다. 달 편광관측 연구

우리는 선행연구를 통해 달에서는 위도가 높을수록 입자가 크다는 것과, 물질 구성성분에 따라 입자 크기 변화가 다르다는 사실을 확인했다. 그림 43은 앞서 말한 입자 크기의 위도에 따른 경향성을 보여주는 개수분포도이다. 위와 같은 특징 가운데 위치에 대한 입자 크기의 차이는 월면에 입사되는 고에너지 입자와 미세운석(micro-meteoroid) 등이 위도에 따라 단위 면적당 입사량의 차이가 나는 것으로부터 기원한다는 것으로 해석했고, 표토를 구성하는 성분 차이에 따른 입자크기 차이는 구성성분이 단단한 물질인 경우 쉽게 부서지지 않아 나타나는 차이라고 보았다. 위와 같은 내용으로 1편의 논문을 천체물리학 저널(ApJS)에 출판됐으며, 2편의 논문을 투고했다. 그중 첫 번째는 월면에서 가장 흥미 있는 지역 가운데 하나인 자기장특

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

이지형(Lunar swirl)의 표토의 입자크기와 표면 거칠기, 그리고 입자가 만들어내는 미세구조와
같은 정보를 편광관측 자료를 이용해 분석한 것이다.

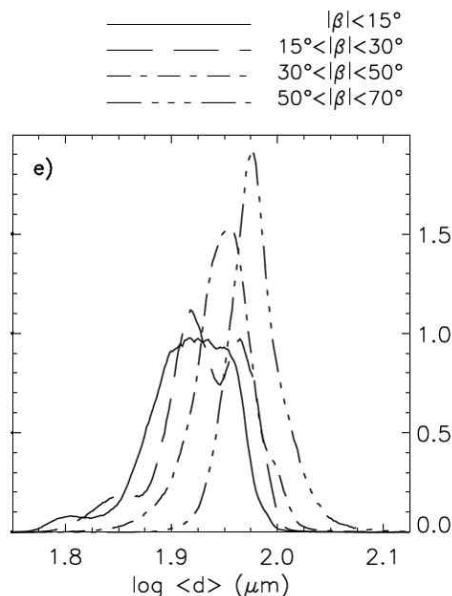


그림 43. 위도에 따른 입자크기
개수 분포도 (Jeong et al. 2015)

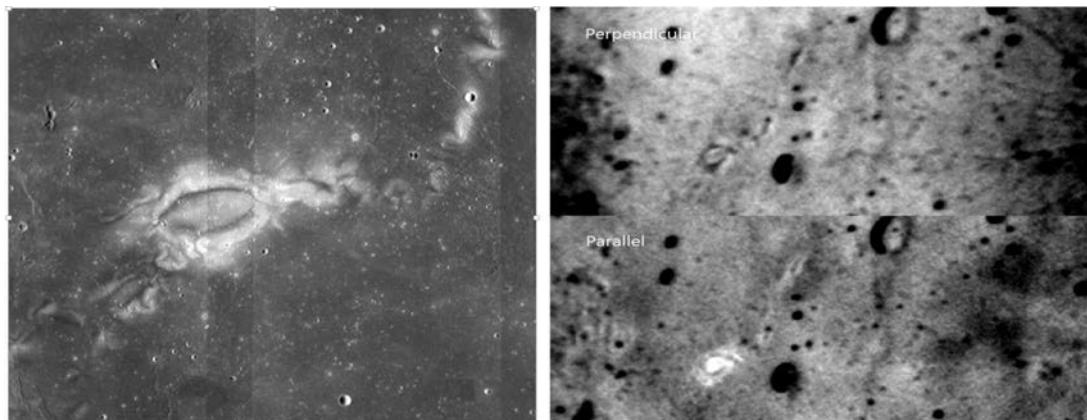


그림 44. 자기장특이지형(왼쪽)과 그 편광영상(오른쪽)(Jeong et al. 2016)

자기장특이지형은 월면의 바다와 고원 지역 모두에서 나타나며, 마치 봇으로 그림을 그려 놓은 것처럼, 구불구불한 형상을 띤다. 반사율이 높고 낮은 지역이 반복해서 나타나지만 표면 높이의 변화는 없는 것이 특징이다. 또한 이 지역은 상대적으로 강한 자기장을 가지고 있어서 이 지형의 형성 원인으로 자기장이 작용했을 것이라고 추정하고 있다. 그 형성이론에 관해서는 세 가지 정도의 서로 다른 모델들이 있으며 그것은 1) Solar wind standoff model(Hood & Schubert, 1980), 2) Dust Transport Model(Garrick-Bethell et al., 2011) 3) Cometary impact model(Schultz & Srnka, 1980) 등이다. 어떤 모델도 아직 확실한 표준모델로서 자리 잡지 못하고 있다. 본 연구팀이 릭(Lick) 천문대에서 행한 저해상도 다채널 편광관측 분석에 따르면 자기장특이지형은 주변지역과 다른 편광특성을 보인다. 그림 44는 달 표면 자기장특이지형 중

하나인 라이너 감마(Reiner gamma swirl)의 위상각 비율 영상으로, 편광판측으로 분리한 단일 산란광(위)과 다중산란광(아래)의 위상각(태양-달-관측자간의 내각)이 약 50.1도 와 95.8도 일 때의 비율 영상이다. 위상각에 따른 밝기 비율은 위상각-반사율 곡선 기울기를 의미하는데, 이 값은 표토의 구조에 크게 의존하기 때문에(Hapke and Horn, 1963; Shkuratov et al., 2013; Clegg et al., 2014) 자기장특이지형이 다른 지역과 비교하여 표토의 구조가 다른 상태임을 의미하는 것으로 추정할 수 있다. 기존 연구에서는 이 지역의 측광자료만을 이용해 특성을 분석했기 때문에 단일산란광과 다중산란광을 분리하지 못해서 표토의 특성을 온전히 분석하지 못했다. 하지만 우리는 편광자료를 이용, 단일산란광과 다중산란광을 분리해 분석을 수행했다. 그 결과, 해당 지역의 표토가 주변 지역에 비해 평坦하며, 월면에서 일반적으로 확인되는 미세구조가 존재하지 않는 것으로 해석할 수 있다. 하지만 우리가 분석한 표면특성은 낮은 해상도로 인해 이 지역의 성인 중에 가장 큰 원인 가운데 하나일 것으로 판단되는 자기장과의 연관성을 분석할 수는 없었다. 만약 우리가 높은 해상도로 해당 지역을 편광판측 할 수 있다면 앞서 분석한 방법을 활용해 자기장과 상관관계를 분석, 그 형성원인을 밝히는 중요한 정보를 얻을 수 있으리라 기대한다.

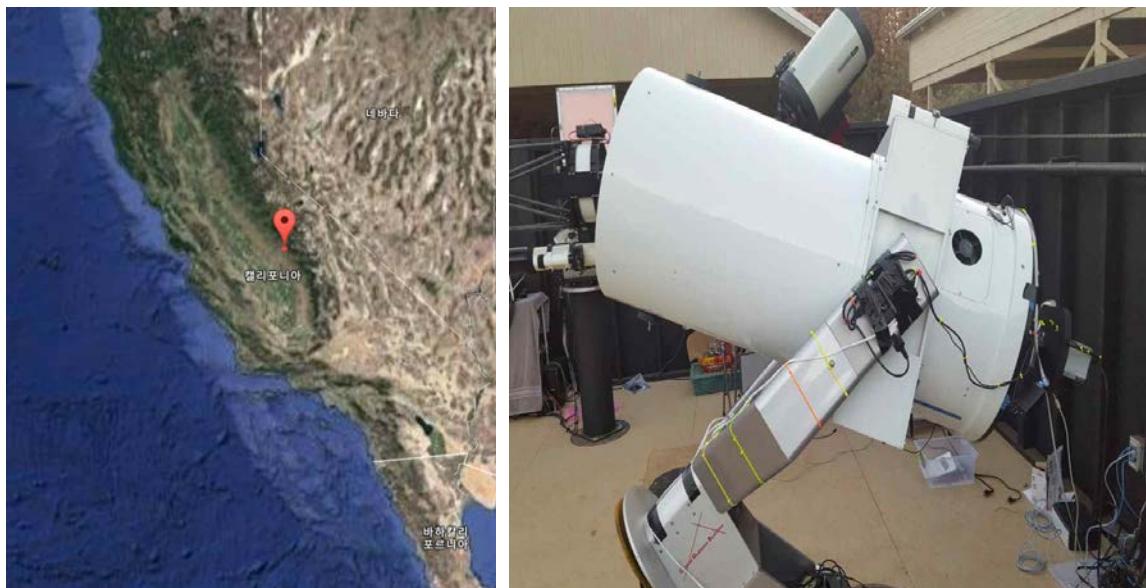


그림 45. 관측소 위치(왼쪽)와 설치된 60cm 망원경(오른쪽)

달 편광판측 연구의 당해년도 연구목표는 1) 원격관측소 구축, 2) 자료처리 소프트웨어 개발, 3) 월면 편광지도 일부 획득이다. 우리는 이러한 연구목표를 모두 성공적으로 성취했으며, 차년도 연구를 위한 준비를 마쳤다. 1) 우리는 원격관측소 구축을 위해 지난 7월 미국 캘리포니아 시에라 원격관측소(Sierra Remote Observatory, SRO)에 0.6m 반사망원경을 설치했다. 현지에서 실제로 관측을 수행한 결과, SRO의 관측조건은 매우 훌륭한 것으로 보인다. 이 지역의 연중 청천일수는 ~300일이며, 시상이 평균 1.4초로 좋은 조건을 제공한다. 현지 인력 지원을 통해 지난 7월 14일 망원경을 배송 받았으며, ~10일에 걸쳐 시스템을 설치했다. 그러나 이 때 마운트 적경축 모터의 오작동이 발견됐다. 수리 가능 여부를 검토했으나, 불가능하다는 것을 확인, 신규 제작에 들어갔다. 신규 모터는 10월 18일 교체했으며, 결국 관측소 구축이 완료됐다. 예상치 못한 모터 오작동으로 인해 관측소 완공에 불가피하게 약 3개월의 지연이 발생했

다. 그럼에도 시험관측 결과, 당초 기대했던 성과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 우리는 망원경 원격구동 시험을 완료해 현재 시험관측 중에 있다. 그림 45 왼쪽은 관측소 위치를 지도상에 표시한 것이며, 그 오른쪽은 설치된 망원경 모습이다.

SRO 0.6m 망원경은 리치-크레티앙(Ritchey-Cheritien) 방식으로 분해능은 ~0.2초다. 현지 평균 시장은 ~1.4초, 건판척도(image scale)는 0.16초/화소로 시장 대비 분해능이 8배인 결과를 산출한다. 시장에 비해 건판척도가 작은 것은 최적영상 선택(lucky imaging)과 영상누적 방식을 이용한 스페클 영상촬영(speckle imaging) 관측을 수행하기 때문이다. 시장을 극복해 고해상 월면 편광영상을 얻기 위해서는 스페클 방법을 바탕으로 한 자료처리 소프트웨어를 개발해야 한다. 이는 당해연도 연구 목표 2번에 해당한다. 현재 우리는 IDL을 기반으로 한 자료처리 소프트웨어 개발을 완료, 고해상도 월면 편광자료를 얻었다(그림 46). 자료처리 소프트웨어는 일반적으로 천문 관측자료 분석에 쓰이는 전처리(암전류, 바이어스(bias), 바닥펴기(flat) 영상처리) 이후 검출기 좌표계에서 월면좌표계로 좌표변환을 수행한다. 관측 영상을 미국 달 탐사선 클레멘타인의 UV-VIS 영상과 비교 분석해 최적영상을 찾고, 그 영상을 누적해 고해상도 영상을 얻는다. 우리가 클레멘타인 UV-VIS 영상을 쓰는 이유는 해상도가 100m로, 우리 관측목표보다 분해능이 높아 기준 영상으로 적합하며, 상대적으로 용량이 작아 고속 자료처리가 가능하기 때문이다.

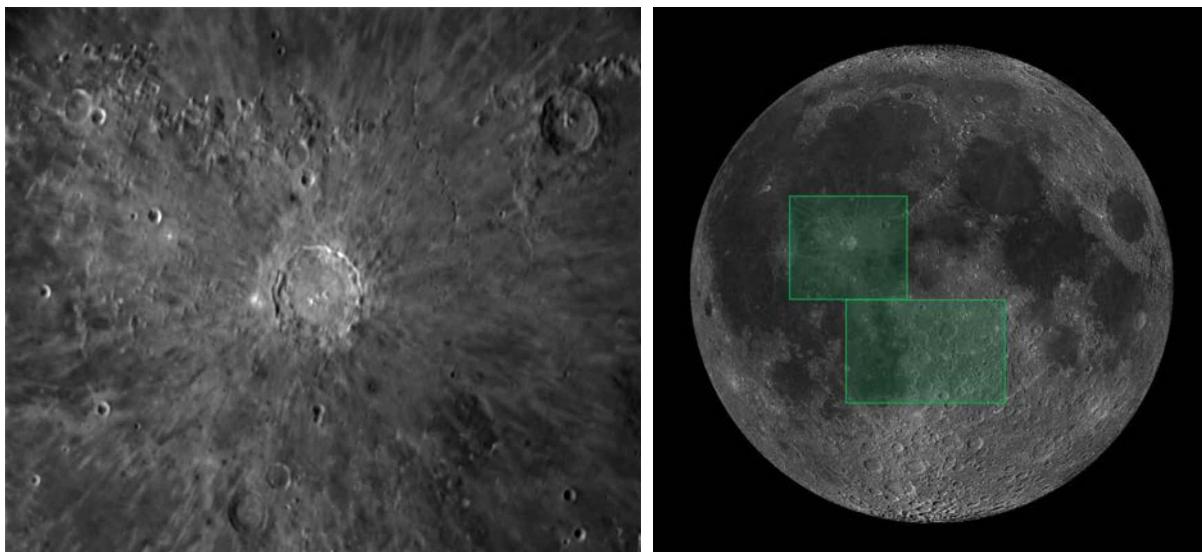


그림 46. 시험관측을 통해 얻은 코페르니쿠스 충돌구 고해상 수직편광영상(왼쪽)과 현재 관측영역. 녹색 사각형은 이번에 우리가 관측한 영역을 나타낸다.

그림 46는 자료처리를 거친 뒤 우리가 얻은 편광영상과 이에 해당하는 월면 관측지역을 나타낸다. 우리는 지난 10월에 얻은 시험관측 영상을 이용해 현재 자료처리 소프트웨어에 대한 개선 작업을 진행하고 있다. 해당 지역은 비교적 최근에 형성된 코페르니쿠스 충돌구로 그 내부와 벽면, 분출물의 세부 구조가 잘 구분돼 표토 성숙도(maturity)를 연구하기에 좋은 지역이다. 이 그림을 보면 지형에 나타난 미세구조는 물론, 충돌구 벽면 같은 지형이 자세히 분해된다는 점을 확인할 수 있다. 그림 46의 편광영상 해상도는 월면상에서 ~500m로 측정됐다. 더

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

많은 시험 관측자료를 활용, 자료처리 S/W의 최적화 작업이 끝나면 ~200-300m 해상도의 영상을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. S/W 최적화는 2016년 내에 완료될 것으로 내다보고 있다.

당해연도 연구목표 3)에 해당하는 월면 편광지도 일부 획득은 마운트 적경축 모터 오작동으로 인해 일정이 무려 3개월 지연됐지만, 월면 12%에 해당하는 지역의 지도 작성에 성공했다. 우리는 이 자료로 자료처리 소프트웨어(그림 47 참조)의 구동 확인, 검증을 완료했으며, 11월부터 과학연구를 위한 자료획득 및 분석이 가능하리라 낙관한다. 현재 계획 중인 과학연구는 충돌구의 내부 평원과 벽면, 분출물에 대한 각각의 편광특성과 입자크기 분석을 통해 이들 지형에 대한 성숙도의 변화를 확인하는 것이다. 최근 Jeong et al. (2015), Hemingway et al. (2015) 등은 월면 위치에 따른 성숙도 진화 속도에 차이가 있다는 것을 입증했다. 우리는 이 연구를 좀 더 진전시켜 지형에 따르는 성숙도의 차이를 분석하는 것이 연구 목표다. 이 일이 성공적으로 진행한다면 우주풍화를 이해하는데 중요한 정보를 찾아낼 수 있으리라 기대한다. 우주풍화는 태양풍과 행성간 먼지입자(interplanetary dust)에 의해 진행되는 것으로 알려져 있지만, 둘 중에 어떤 것이 더 많은 영향을 주는지는 알려지지 않았다. 뿐만 아니라, 행성 간 먼지입자 분포에 관한 정보도 제한적이기 때문에 우리는 이 연구를 통해 새로운 단서를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.



그림 47. 자료처리 흐름도

제 3 절 우주용 소형 적외선탑재체 개발

1. MIRIS 우주카메라 관측자료 분석 및 활용연구

가. 시스템 검출 한계

MIRIS의 검출 한계를 확인하기 위하여 영상에서 별들을 검출하여 이들의 밝기를 구하고 이를 근적외선 전천탐사 지상관측 프로젝트인 2MASS(Two Micron All Sky Survey)의 광원 목록(Cutri et al. 2003)과 비교하였다. MIRIS 영상에서 별들을 검출하고 밝기를 얻기 위하여 SExtractor(Bertin & Arnouts 1996)를 이용하였다. 배경 밝기에 비하여 표준편차의 3배보다 밝은 광원들을 모두 검출한 후 이를 중 별 만을 골라내기 위하여 SExtractor가 제공하는 파라미터인 CLASS_STAR 값이 0.9보다 크고 ELLIPTICITY 값이 0.2보다 작은 것들만을 선택하였다. 이렇게 골라진 각 광원의 좌표와 가장 가까운 광원의 밝기를 2MASS 광원 목록에서 얻어 비교하였다. MIRIS의 I 밴드 밝기는 2MASS의 J 밴드와 비교하였고 H 밴드, Pa α 연속선 필터(PAAC), 방출선(PAAL) 필터 밝기는 2MASS H 밴드와 비교하였다. 그 결과는 그림 48과 같다.

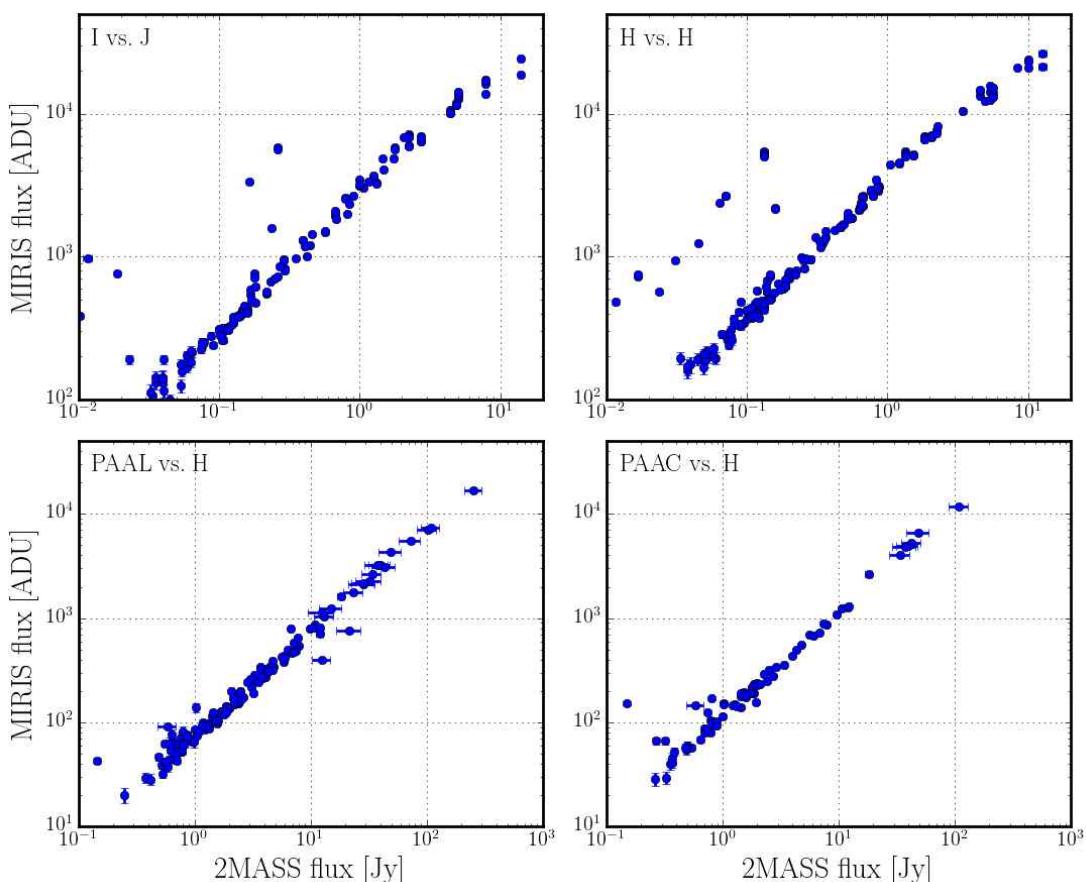


그림 48. MIRIS 우주관측영상에서 검출된 별들의 MIRIS I 밴드 밝기와 2MASS J 밴드 밝기(왼쪽 위), MIRIS H 밴드 밝기와 2MASS H 밴드 밝기(오른쪽 위), MIRIS PAAL 필터 밝기와 2MASS H 밴드 밝기(왼쪽 아래), MIRIS PAAC 필터 밝기와 2MASS H 밴드 밝기(오른쪽 아래)의 비교.

MIRIS로 측정된 별의 밝기는 2MASS의 밝기와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 다만 MIRIS로

측정한 플럭스가 10,000 ADU를 넘어가면 선형 관계에서 벗어나는데, 그 원인에 대해서는 현재 확인 중이다. 한편 MIRIS는 I 밴드의 경우 2MASS J 밴드 플럭스가 약 30 mJy인 광원까지, H 밴드의 경우 2MASS H 밴드 플럭스가 약 30 mJy인 광원까지, PAAL과 PAAC 필터의 경우 2MASS H 밴드 플럭스가 약 300 mJy인 광원까지 검출할 수 있다.

나. 근적외선 배경복사 요동연구

MIRIS는 근적외선 배경복사 연구를 위하여 여러 관측을 수행하였다. 세극(황북극, 은하북극, 은하남극) 방향으로의 광역(약 10도 × 10도) 관측과 황북극 방향으로의 감시 관측이다. 현재는 황북극 감시 관측 자료를 이용하여 근적외선 배경복사의 요동 연구를 수행하고 있다. 황북극은 태양동기궤도에서 항상 관측이 가능한 방향에 있어 MIRIS는 이 방향을 이틀에 한번씩 I 밴드 필터와 H 밴드 필터로 관측하였다. 총 관측 횟수는 각각 163회, 164회로, 이 중 일부를 골라 합한 결과가 그림 49다. 이 영상의 총 적분 시간은 10시간 이상으로 신호대잡음비가 매우 높다. 이 중 H 밴드 필터 영상에서 별 등 광원을 제거하고 배경광만 남긴 영상을 얻고 이로부터 요동 스펙트럼을 얻은 결과는 그림 50과 같다. 하지만 이는 초기 결과로 광원을 더 완벽하게 제거하기 위해서는 영상의 PSF(point-spread function) 특성을 확인할 필요가 있다.

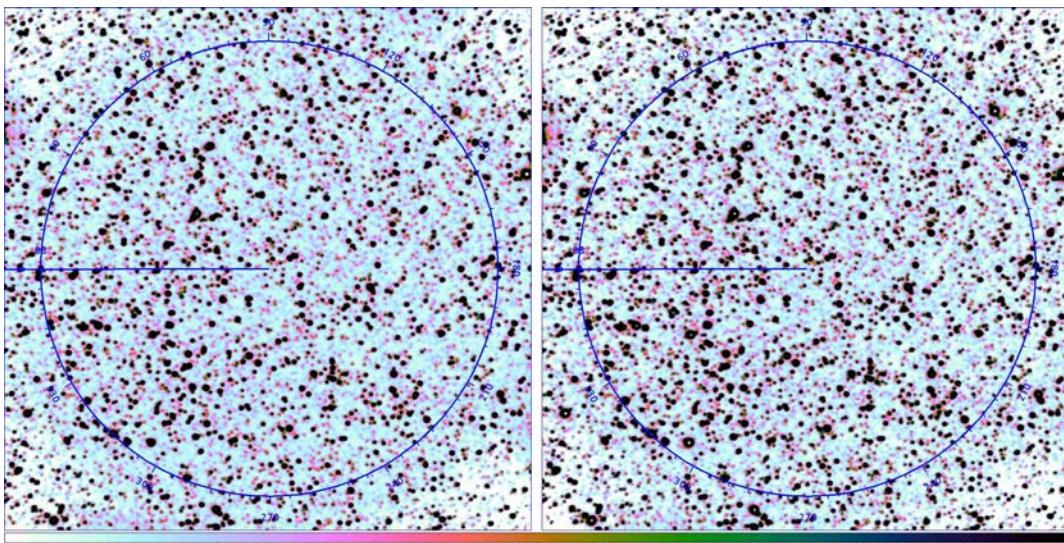


그림 49. 여러 황북극 감시관측 영상을 합한 결과. 왼쪽은 I 밴드 필터,
오른쪽은 H 밴드 필터 영상이다. 그림에서 파란색 원의 직경은 3.4도이다.

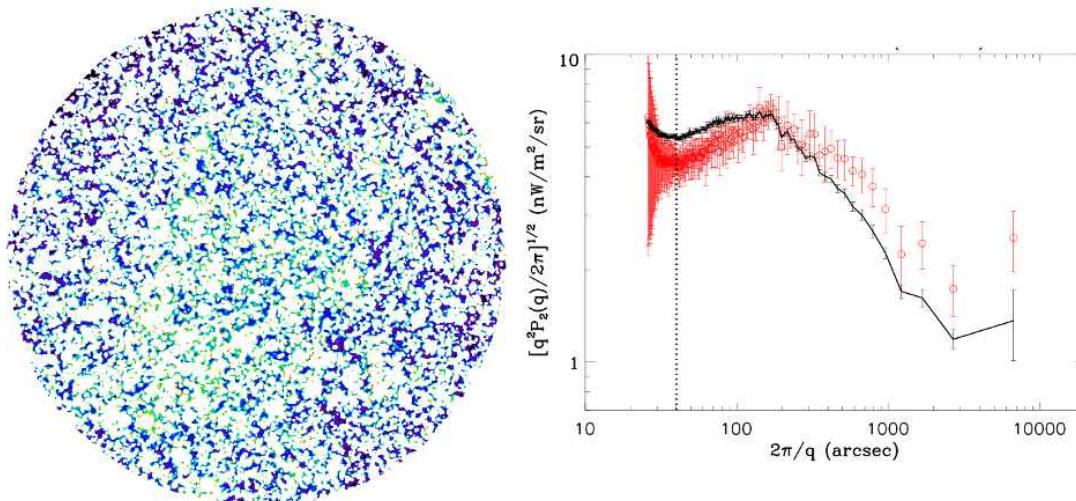


그림 50. 황북극 감시관측의 H 밴드 필터 영상에서 얻은 배경광 영상(왼쪽)과
이로부터 얻은 배경광의 요동 스펙트럼(오른쪽).

다. 세페우스 영역의 전리수소영역 연구

MIRIS의 은하면 $\text{Pa}\alpha$ 방출선 탐사관측은 우리은하의 전리수소영역을 연구하는데 유용하다. 전리수소영역은 어린 무거운 별이 주변의 성간물질을 이온화시킨 것으로 이 영역에 존재하는 이온화된 수소가 재결합하면서 여러 수소 재결합선이 방출된다. 이 중 $\text{H}\alpha$ 선은 지상에서도 관측이 가능하기 때문에 자주 활용되지만 성간 티끌에 의한 성간소광의 영향을 심하게 받는다. 반면 $\text{Pa}\alpha$ 선은 지상에서는 관측이 불가능하여 자주 관측되지 않지만 $\text{H}\alpha$ 선보다 파장이 길어 소광을 적게 겪기 때문에 전리수소영역을 검출하는데 더 유용하다. 그 가능성을 확인하기 위하여 세페우스 영역(은경 100도부터 115도까지)의 MIRIS $\text{Pa}\alpha$ 선 영상에서 Anderson 등 (2014)의 목록에 수록된 전리수소영역이 얼마나 검출되었는지 살펴보았다. 그림 51는 이 영역에 대한 여러 파장의 관측 영상을 비교한 것이다.

Anderson 등(2014)은 WISE의 중적외선 관측 영상을 조사하여 중적외선이 방출되고 모양이 대체로 둥근 것들을 찾아서 이들이 다른 파장($\text{H}\alpha$ 선과 전파)에서도 검출되는지를 기준으로 전리수소영역을 분류하였다. 그 중 $\text{H}\alpha$ 선이 검출되어 “알려진” 전리수소영역으로 분류한 것은 이 영역에 53개 존재하는데, 이들 거의 모두에서는 $\text{Pa}\alpha$ 선이 검출되었다. 전파는 검출되지만 $\text{H}\alpha$ 선이 검출되지 않아 “후보”로 분류한 것도 역시 53개 존재하는데, 이 중 50%에서 $\text{Pa}\alpha$ 선이 검출되어 이들은 확실한 전리수소영역으로 재분류할 수 있게 되었다. 그 외에 중적외선 영상에서는 보이지만 전파가 검출되지 않은 100개에서는 모두 $\text{Pa}\alpha$ 선이 보이지 않았다. 이를 기반으로 MIRIS 관측을 통하여 Anderson 등(2014)이 전리수소영역의 후보로 분류한 것들 중 50%는 확실한 전리수소영역으로 재확인할 수 있을 것으로 보인다.

현재는 MIRIS의 $\text{Pa}\alpha$ 선 영상의 질을 향상시키기 위한 분석을 진행하고 있다. MIRIS의 관측 영상에서 $\text{Pa}\alpha$ 선 영상을 얻기 위해서는 PAAL 필터 영상에서 PAAC 필터 영상을 빼주어야 하는데 두 필터 영상 사이에 여러 특성(파장에 따른 투과 특성, PSF 등)에 차이가 있어 단순한 차이를 구하는 것으로는 충분치 않다. 이를 위해 각 필터 영상의 특성을 분석하고 있다.

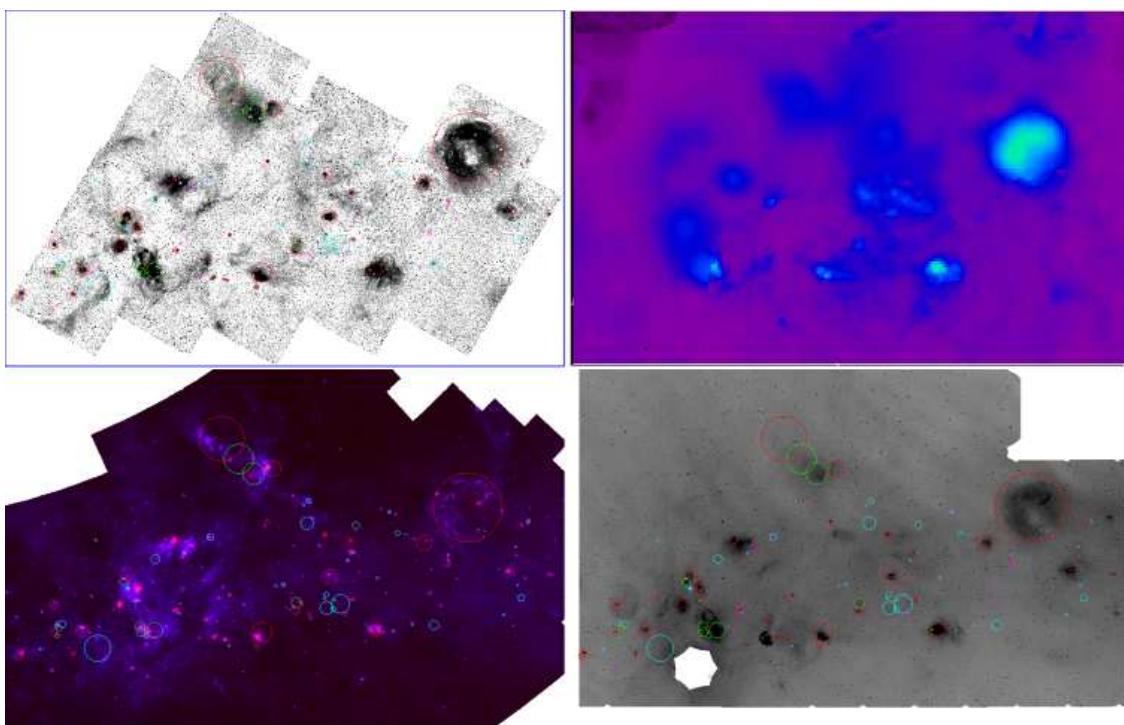


그림 51. 세페우스 영역에 대한 MIRIS의 $\text{P}\alpha\alpha$ 선(왼쪽 위), 지상 관측 $\text{H}\alpha$ 선(오른쪽 위, Finkbeiner 2003), WISE(Wide-field Infrared Survey Explorer)의 12 및 22 μm 중적외선(왼쪽 아래), 그리고 전파 연속선(오른쪽 아래) 영상. 각 영상의 원은 Anderson 등(2014)의 목록에 수록된 전리수소영역의 위치와 크기를 나타낸다.

2. NISS 비행모델(FM) 개발

<NISS 광학계 개발>

가. 광학요소 가공

(1) 주경 및 부경 (EQM & FM)

주경 및 부경은 Conic 형상을 하고 있으므로, 오송첨단의료산업진흥재단(KBIO)에서 초정밀 가공을 수행하였다. 초정밀가공후 형상측정은 Panasonic사의 UA3P 형상측정기를 이용하여 측정하였다. 그림 52는 KBIO에서 수행한 광학면 거울 초정밀가공 공정 요약이다. 그림 53, 54은 각각 주경과 부경의 초정밀가공결과를 정리한 그림이다. 전체 대칭형거울을 초정밀가공을 하고, 비축광학면에 해당하는 부분을 분리해내는 방법이다. 측정을 대칭형거울에서 측정을 하고, 비축광학면을 다시 측정하였다. 주경과 부경 각각 2개씩 가공을 하였고, 그림에서 확인할 수 있듯이 모든 측정값이 설계당시 제시한 공차범위 내에 존재함을 알 수 있다. 공차범위는 주경은 ~5 μm PV, 부경은 ~4 μm PV이다. 가장 우수한 것을 비행모델에 사용하고, 두 번째 것을 시험인증모델에 사용하였다. 그림 55, 56은 주경과 부경의 뒷면의 초정밀 가공의 결과이다. 주경 및 부경의 경우 광학면으로 사용하는 앞면 뿐만 아니라 조립정렬에 기준면으로 사용되는 뒷면도 매우 중요하다. 뒷면의 경우도 광학면의 수준에서 가공이 성공적으로 이루어졌다. 그림 57은 가공이 완료된 주경(위)과 부경(아래)의 모습이다. 그림 58은 주부경의 Gold 코팅 결과이다. 전 파장대에서 96%이상의 반사율을 보여주는 것을 확인할 수 있다.



그림 52. 주경 및 부경의 초정밀가공 공정 요약

Parameter	Design (300K)	FM Fab. (300K) - (a)	FM Fab. (300K) - (b)	$K_{\text{Design}} \pm \Delta K$	SAG ₁ From upper tolerance	SAG ₂ From lower tolerance	Absolute SAG Difference (SAG ₁ - SAG ₂) (μm)
Radius (R)	505.24873	505.23076	-				
Conic (K)	-0.969101	-1.000642	-				
4° (a)		0.149422E-11	-				
6° (b)		-452835E-16	-				

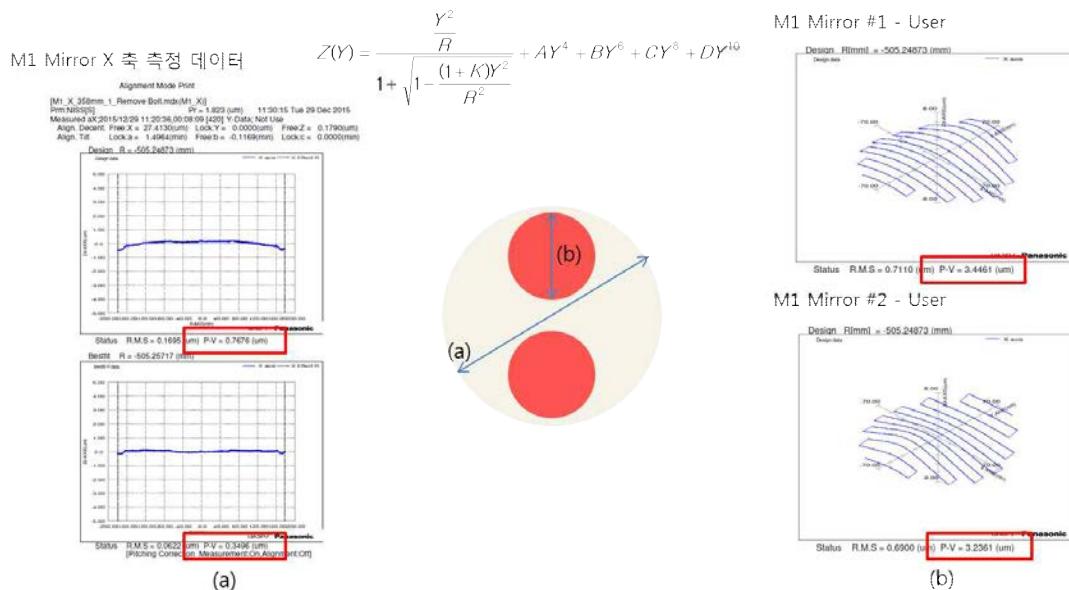


그림 53. 주경의 초정밀가공 결과

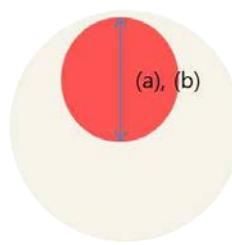
Parameter	Design (300K)	FM Fab. (300K) - (a)	FM Fab. (300K) - (b)	$K_{\text{Design}} \pm \Delta K$	SAG_1 From upper tolerance	SAG_2 From lower tolerance	Absolute SAG Difference ($ SAG_1 - SAG_2 $) (μm)
Radius (R)	153.96616	154.00302	-				
Conic (K)	-1.003005	-0.996700	-				
4^{th} (a)	-	0.215667E-09	-				
5^{th} (b)	-	-0.91951E-13	-				
Conic (K)							
-1.003005172316							
$+ -0.0050150258616$							
7							
13.047200325359							
13.0513161379957							
$\sim 4 \text{ PV}$							

M2 Mirror #1 - X

Alignment Mode Print
[N555_M2_FM_#1_X50_after.mbd]
Print N5555
Print Date: 2015-12-18 20:49:38.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Measured at 2015/12/18 20:49:38.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Align Decent, Lock X = 0.1873(m) Lock Y = -0.0003(m) Lock Z = 0.0005(m)
Align Tilt, Lock A = 0.0003(m) Lock B = -0.0003(m) Lock C = 0.0004(m)

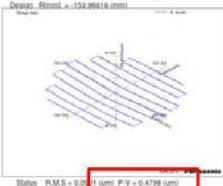


$$Z(Y) = \frac{Y^2}{1 + \sqrt{1 - \frac{(1+K)Y^2}{R^2}}} + AY^4 + BY^6 + CY^8 + DY^{10}$$



M2 Mirror # 1 - User

Alignment Mode Print
[N555_M2_FM_#1_Y50_after.mbd]
Print N5555
Print Date: 2015-12-18 20:49:38.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Measured at 2015/12/18 20:49:38.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Align Decent, Free X = -0.7853(m) Free Y = -3.0269(m) Free Z = -0.2095(m)
Align Tilt, Lock A = 0.0003(m) Lock B = 0.0003(m) Lock C = 0.0003(m)



M1 Mirror #2 - X

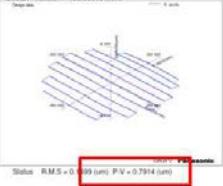
Alignment Mode Print
[N555_M1_FM_#2_X50_after.mbd]
Print N5555
Print Date: 2015-12-18 21:04:54.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Measured at 2015/12/18 21:04:54.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Align Decent, Lock X = -0.0003(m) Lock Y = 0.0001(m) Lock Z = 0.0028(m)
Align Tilt, Lock A = -0.0003(m) Lock B = 0.0001(m) Lock C = 0.1405(m)



(a)

M1 Mirror #2 - User

Alignment Mode Print
[N555_M1_FM_#2_Y50_after.mbd]
Print N5555
Print Date: 2015-12-18 21:29:20.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Measured at 2015/12/18 21:29:20.00 05:29 (AUS) Y-Dat, Not Use
Align Decent, Free X = -26.1722(m) Free Y = -3.5065(m) Free Z = -7.0037(m)
Align Tilt, Lock A = 0.0003(m) Lock B = 0.0003(m) Lock C = 0.0003(m)

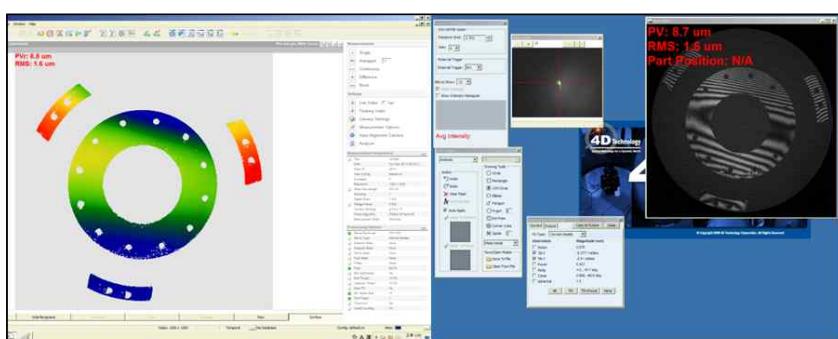


(b)

그림 54. 부경의 초정밀가공 결과

M1 Mirror #1

P-V : 8.8 um



M1 Mirror #2

P-V : 7.0 um

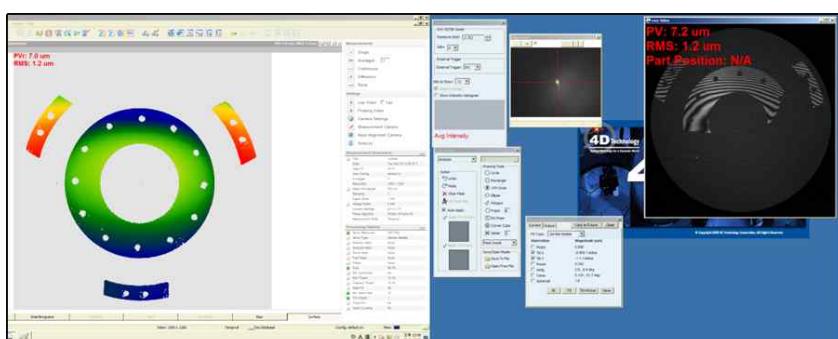


그림 55. 주경의 뒷면 가공

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

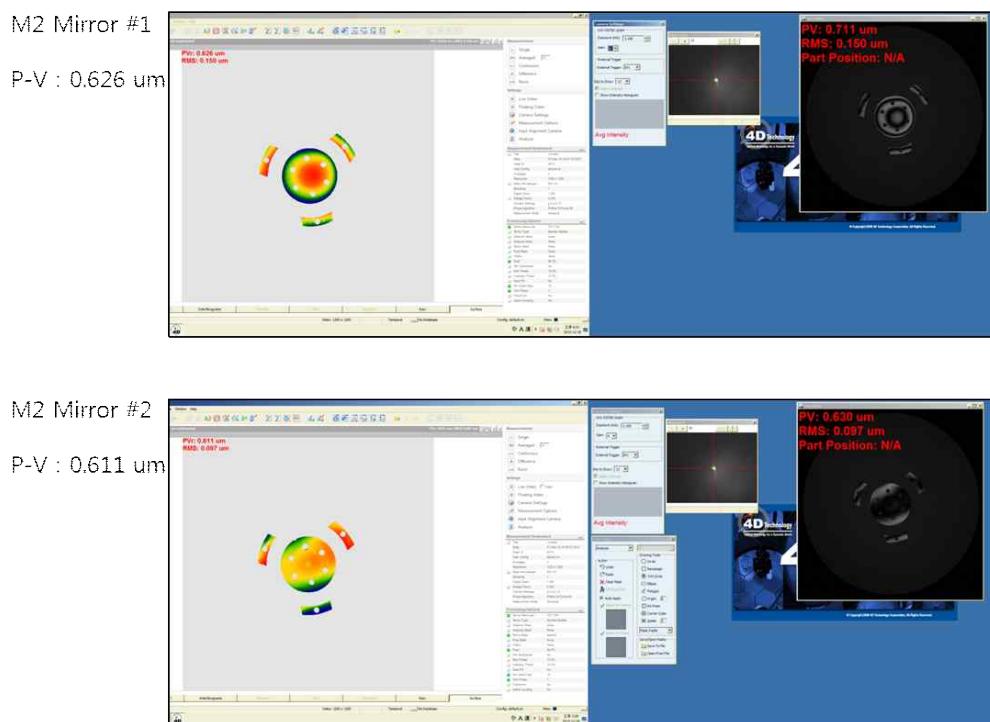


그림 56. 부경의 뒷면 가공

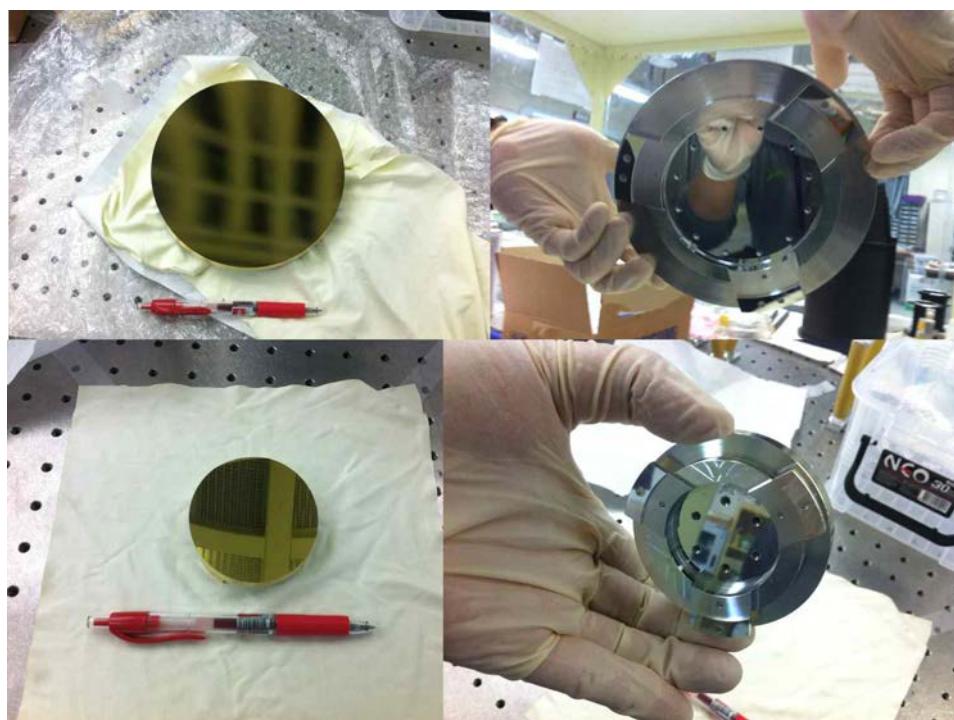


그림 57. 주경(위)과 부경(아래)의 가공완료 모습

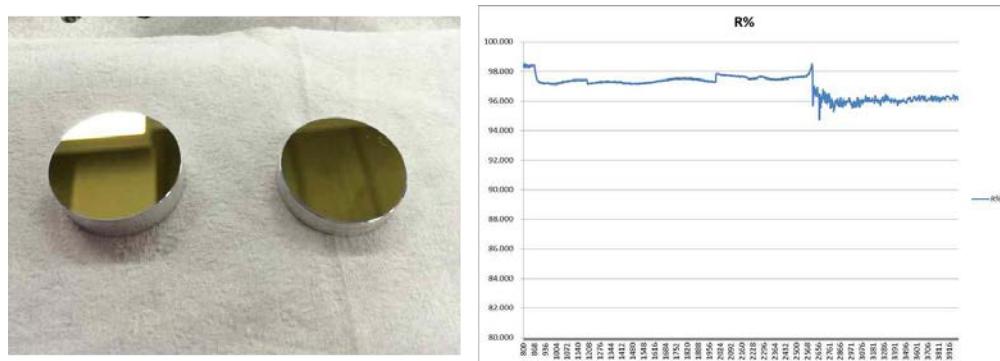


그림 58. 주부경의 코팅 (Gold Coating)

(2) 렌즈 (EQM & FM)

Relay 렌즈부에 사용되는 렌즈들은 시험인증모델은 (주)그린광학에서 가공 및 무반사코팅을, 비행모델은 오송첨단의료산업진흥재단(KBIO)에서 가공을 수행하였고, 일본 Optical Coatings Japan(OCJ)에서 무반사코팅을 수행을 완료하였다. 그림 59, 60은 비행모델의 렌즈가공 중에서 2개의 비구면에 대한 UA3P 형상측정 데이터를 보여준다. 참고로 위의 그래프는 설계값의 곡률반경으로 구한 residual 형상오차이고, 아래의 그래프는 best fitting residual 형상오차이다. 그림 61, 62는 이에 대한 가공검수 데이터를 보여준다. 그림 63은 비행모델의 렌즈코팅 데이터의 예이고, 그림 64은 환경시험(thermal cycle)을 수행한 모습이다.

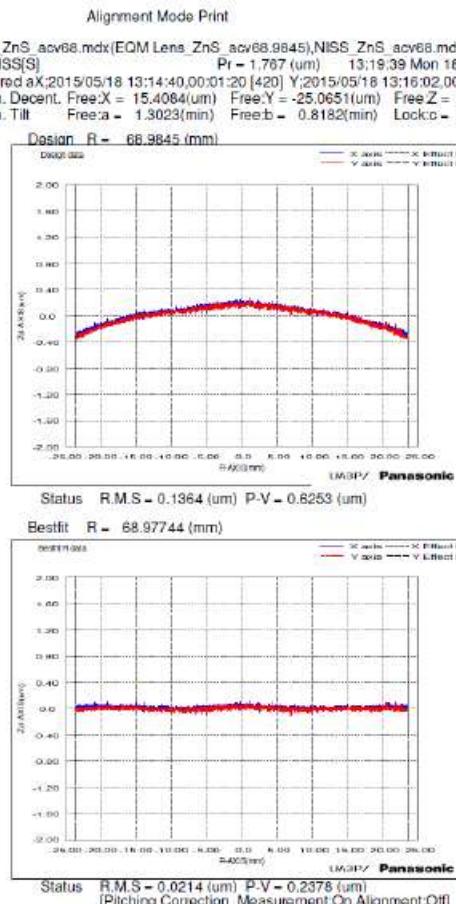


그림 59. 비구면을 포함한 L3에 대한 UA3P 데이터

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

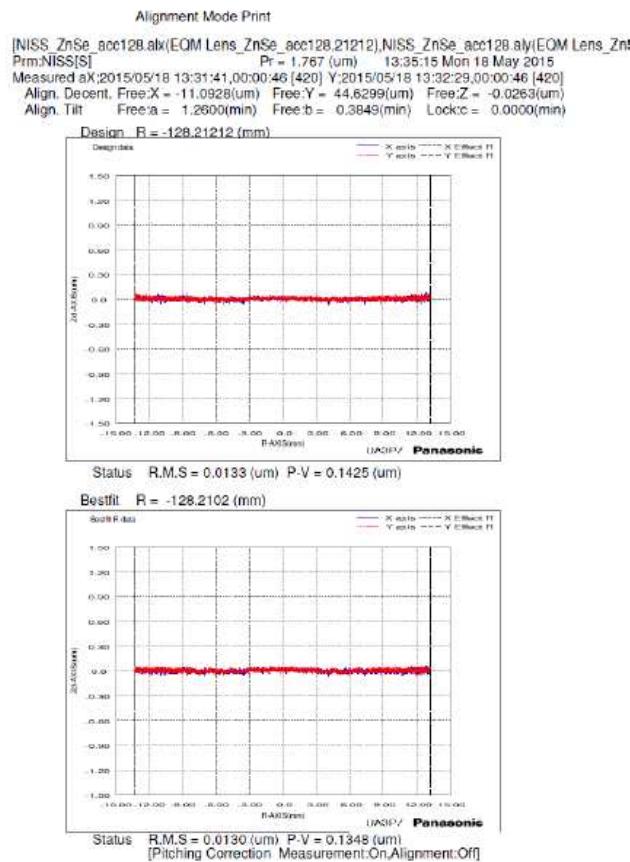


그림 60. 비구면을 포함한 L6에 대한 UA3P
데이터

Glass	Parameter	Design	Measure	Specified Tolerance	Actual Error	Judgement	Evidence
L3 (ZnS)	Front (ASPH)	Radius (mm)	68.98450	69.09053	- Sag tolerance is 0.7 μ m PV		
		Conic Coeff. (K)	0.243961	0.246176	-Surface waviness of sag error is less than a peak and valley on ASPH surface. Errors in high special frequency are not allowed after radius fitting		
		4 th Order Coeff. (A)	-0.329090E-06	-0.707077E-07			
		6 th Order Coeff. (B)	-0.573768E-10	-0.241638E-08			
		8 th Order Coeff. (C)	-0.720169E-13	0.108093E-10			
		10 th Order Coeff. (D)	0.306516E-16	-0.265183E-13			
		12 th Order Coeff. (E)	-	0.327471E-16			
		14 th Order Coeff. (F)	-	-0.160829E-19			
		Designed SAG Value					
		Fabricated SAG value					
		Compensated Best Fitting					
		Radius (mm) (UA3P)					
		SAG Error					
		Res. SAG Error					
Back (SPH)	Ra (\AA)		3.361				
	Coating Diameter (mm)						
	Radius (mm)	-301.907	-301.934	accuracy	0.25 λ PV	accuracy	0.067 λ PV
Common	Ra (\AA)		7.156				0.013 λ RMS
	Coating Diameter (mm)						
	Thickness (mm)	9.006	9.034	0.040 (0.050)		0.28	
	Outer Diameter (mm)	53.034	53.012	-0.02, -0.05		-0.022	
	Wedge (arcmin)			0.6 (1.3)		0.67 ***	

그림 61. 비구면을 포함한 L3에 대한 검수데이터

Glass		Parameter	Design	Measure	Specified Tolerance		Actual Error		Judgement	Evidence
L6 (ZnSe)	Front (SPH)	Radius (mm)	-46.061	-46.0642	accuracy	0.25 λ PV	accuracy	0.079 λ PV		
		Ra (\AA)		4.575				0.014 λ RMS		
		Coating Diameter (mm)								
	Back (ASPH)	Radius (mm)	128.21212	128.09968	- Sag tolerance is 0.3 μm PV - Surface waviness of sag error is less than a peak and valley on ASPH surface. Errors in high special frequency are not allowed after radius fitting					
		Conic Coeff. (K)	0.460941	-0.833460						
		4 th Order Coeff. (A)	0.904667E-06	0.596400E-06						
		6 th Order Coeff. (B)	-.199638E-09	0.133315E-07						
		8 th Order Coeff. (C)	-.167900E-11	-0.219916E-09						
		10 th Order Coeff. (D)	0.139993E-13	0.180761E-11						
		12 th Order Coeff. (E)	-	-0.731070E-14						
		14 th Order Coeff. (F)	-	0.117343E-16						
		Designed SAG Value								
		Fabricated SAG value								
Common	Compensated Best Fitting	Radius (mm) (UA3P)								
		SAG Error								
		Res. SAG Error								
		Ra (\AA)		2.858						
		Coating Diameter (mm)								
		Thickness (mm)	5.504	5.529			0.040 (0.050)	-0.048***		
		Outer Diameter (mm)	32.621	32.598			-0.02, -0.05	0.023		
		Wedge (arcmin)					1.0 (2.1)	1.33***		

그림 62. 비구면을 포함한 L6에 대한 검수데이터

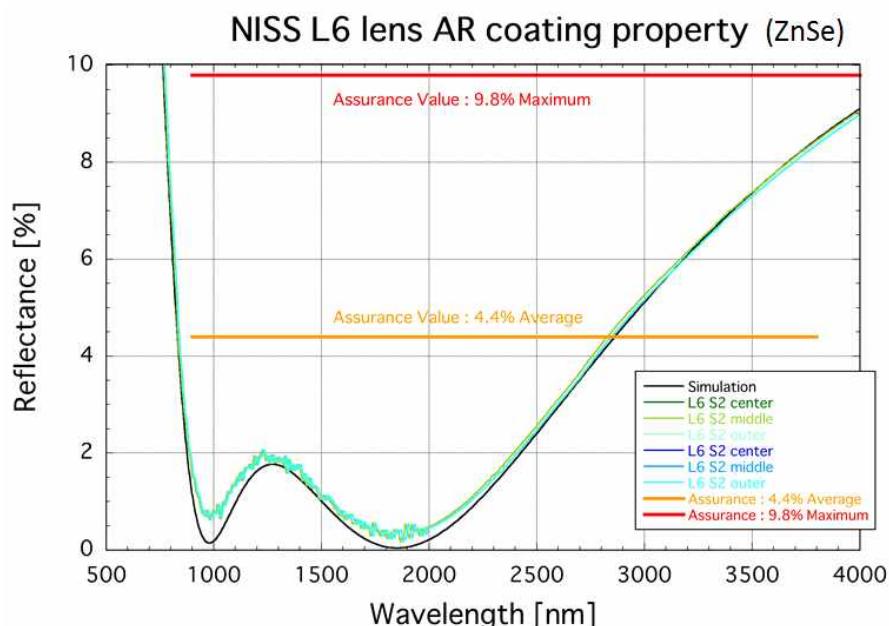


그림 63. 비행모델 렌즈의 무반사코팅 결과데이터 (ZnSe)

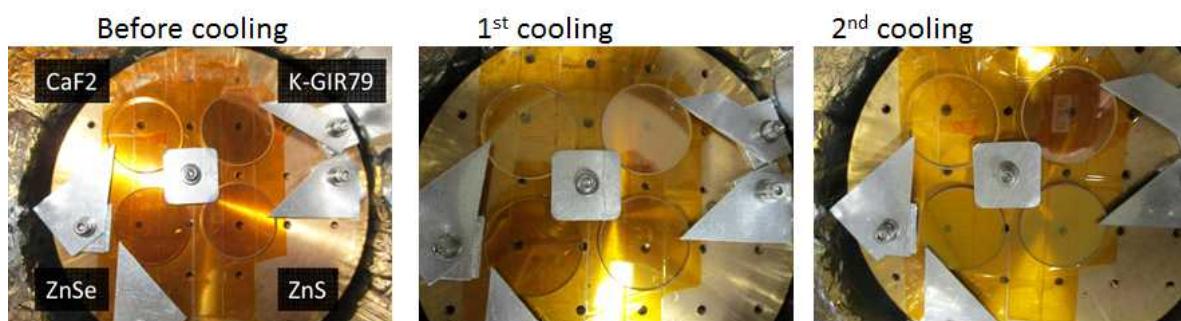


그림 64. 비행모델 렌즈코팅시편의 열환경시험 (thermal cycle test)

나. 조립 및 정렬 (Assembly and Alignment)

(1) 주경 및 부경 정렬 (FM)

주경 및 부경의 정렬은 NISS 광학계의 성능을 결정짓는 가장 정밀함이 요구되는 작업이다. 정렬의 원리는 간섭계와 평면경을 정렬하고, 간섭계와 주경을 정렬한 후, 부경의 보상하면서 이루어진다. 이때, 주경의 정렬을 위하여 주경의 최외각부에 주경의 광축에 수직인 초정밀가공된 참조면(reference surface)을 이용한다. 우선, 자유정렬시험을 수행하는데, 이 시험의 목적은 구조부의 간섭을 최소화하여 광학면 가공이 잘 이루어졌는지 확인하는 목적이 크다. 본격적인 정렬에서는 부경 어셈블리의 정렬 스크류를 이용하여 예비 정렬을 수행하여 최상적의 성능을 확인한 다음, shim을 삽입하여 최종 정렬을 수행한다. 정렬 스크류와 shim 정렬간의 다소 약간의 차이는 발생할 수밖에 없지만, 차이를 최소화하여 마무리되었다. 최종성능결과는 시험인증 모델에서 PV $5.0 \mu\text{m}$, RMS $0.91 \mu\text{m}$, 비행모델에서 PV $2.7 \mu\text{m}$, RMS $0.61 \mu\text{m}$ 로 비행 모델에서 성능이 30% 향상되었다.

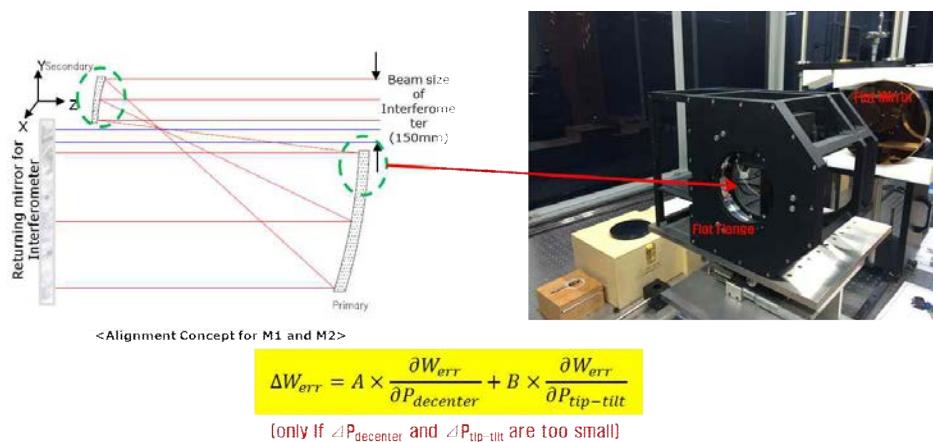


그림 65. 주부경 조립정렬 개념

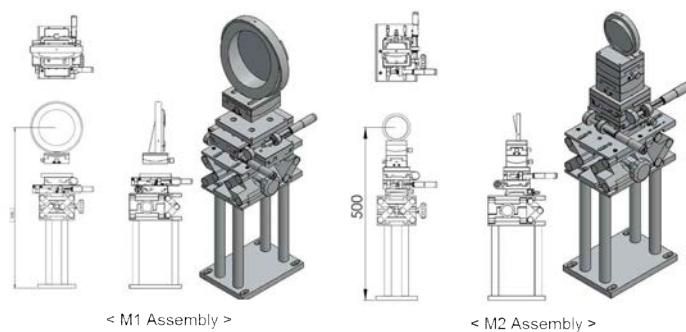


그림 66. 주부경 자유정렬시험을 위한 치구

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

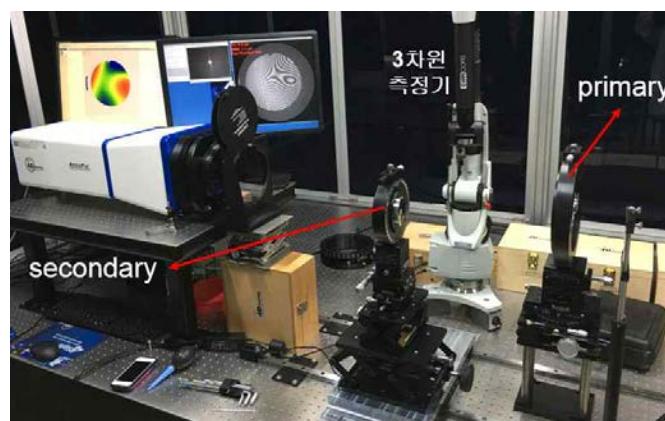


그림 67. 주부경 자유정렬시험



Normal position test

Switched M1-M2 position test



그림 68. 주부경 자유정렬시험 수행

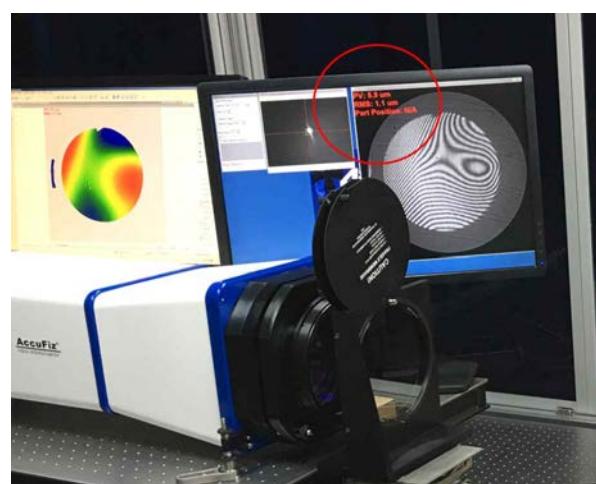


그림 69. 주부경 자유정렬시험의 결과

($5.9\mu\text{m}$ PV, $1.1\mu\text{m}$ RMS)

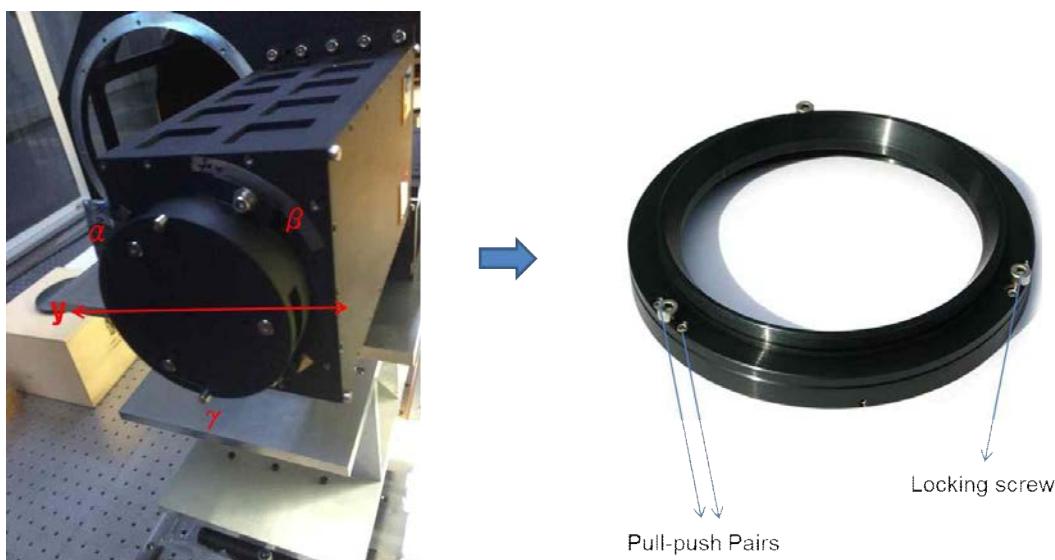


그림 70. 부경 어셈블리의 tip-tilt 조정을 이용한 정렬



그림 71. 부경 어셈블리에 shim 조정을 이용한 최종 정렬



그림 72. 부경 어셈블리에 shim 조정을 이용한 최종 정렬

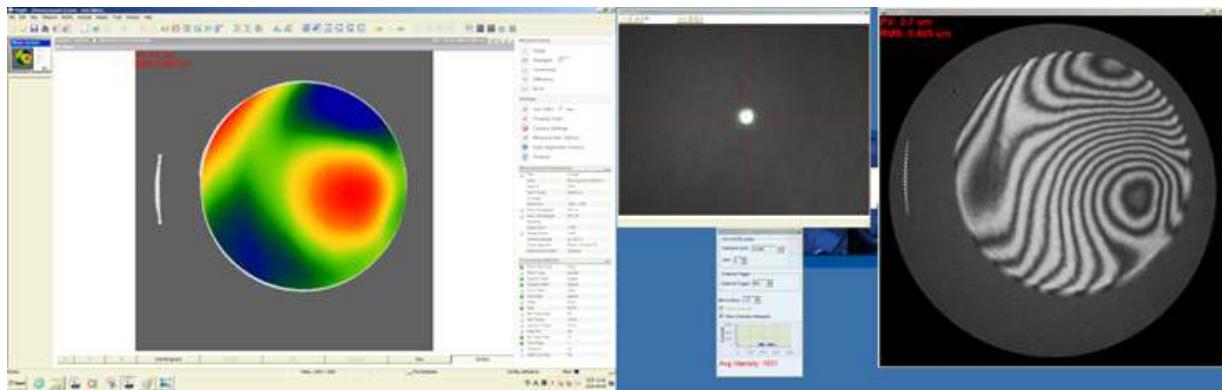


그림 73. 최종정렬 결과. (위) 시험인증모델 PV $5.0\mu\text{m}$, RMS $0.911\mu\text{m}$, (아래) 비행모델 PV $2.7\mu\text{m}$, RMS $0.61\mu\text{m}$

(2) 렌즈부 조립

8매의 렌즈의 조립 및 정렬을 수행하였다. 배럴은 2개로 이루어져 있는데, L1-L4는 배럴1에, L5-8은 배럴2에 조립된다. 각각의 배럴을 편심측정기로 정밀하게 광축을 확인하고, 재조립을 반복하면서 최종성능을 확보하였다. 편심측정에 사용된 장비는 TriOptics사의 장비이다 (그림 74). 조립된 렌즈배럴의 성능은 유효초점거리 및 flange back 측정, 상온 PSF 측정으로 확인하였다. 최종 PSF FWHM은 $21\mu\text{m}$ 로서 요구조건 $38.5\mu\text{m}$ 보다 높은 수치이다.

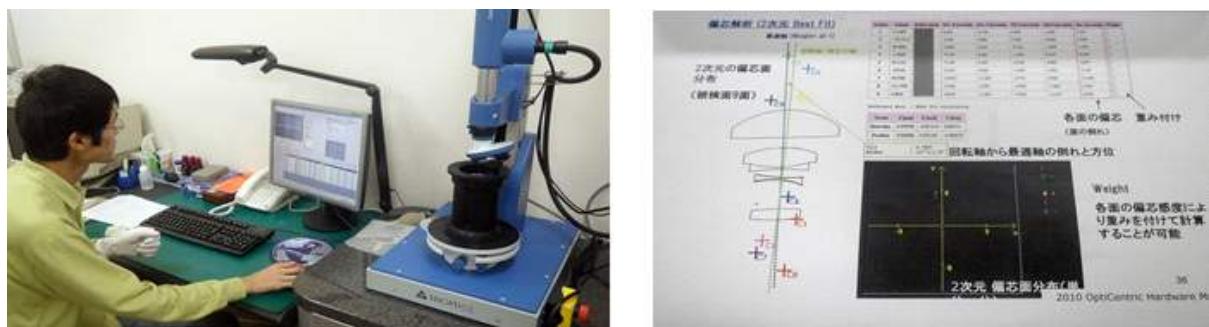


그림 74. 렌즈조립에 사용된 편심측정기

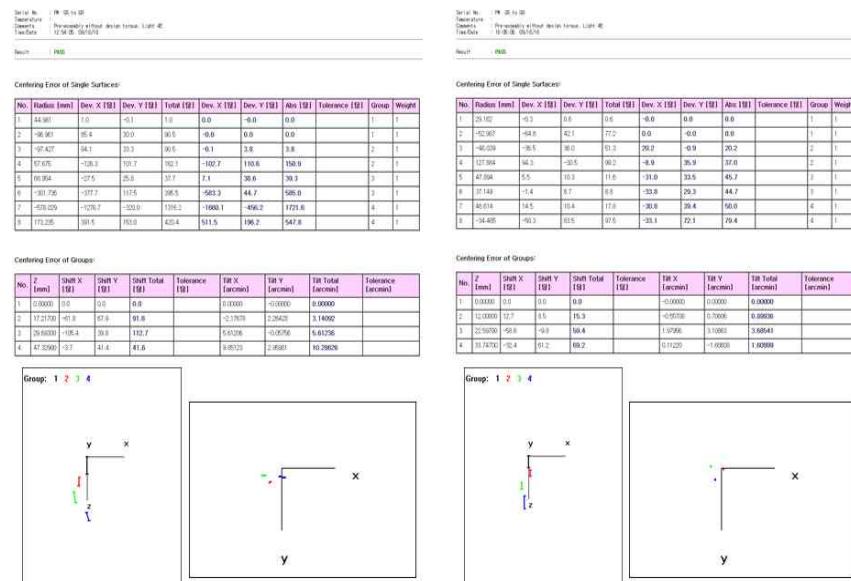
국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.



그림 75. 렌즈 조립 및 정렬 과정

	300K (w/o Filters)				
	Design	FM Fab before Pre-assembly (CODE V)	FM Fab before Pre-assembly (LightTools)	FM Fab after Pre-assembly (CODE V)	Measurement
EFL (mm)	183.1627	183.0519	-	184.1519	
BFL (mm)	29.1219	28.7411	28.661	30.2685	
Flange Back (mm)				23.413	

그림 76. 유효초점거리 및 flange back 측정결과 (@e-line, 546.1nm)



<G1-G4 Group>

<G5-G8 Group>

그림 77. 편심측정 결과

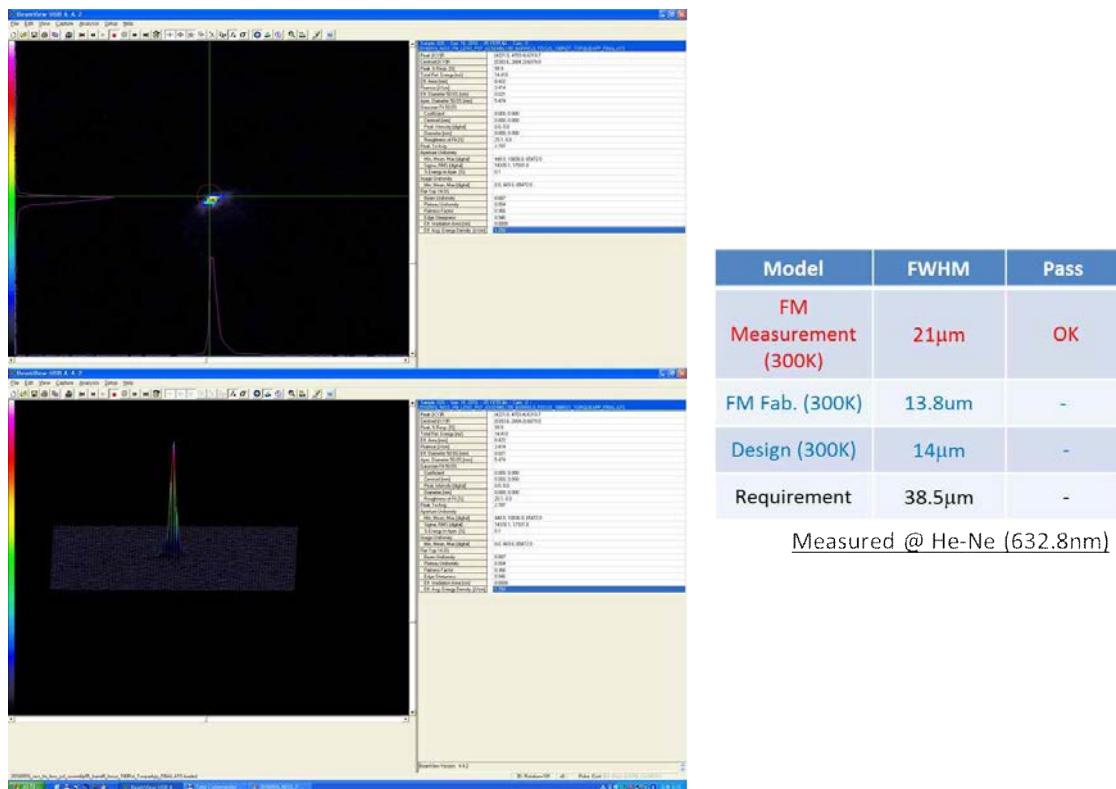


그림 78. 상온 PSF 측정

(3) 전체 광학계 상온 PSF 측정시험

주부경의 조립정렬과 렌즈 배럴부의 조립정렬이 완료된 후, 저온 Focus Test를 수행하기 이전에 광학성능을 측정할 수 있는 방법이 beam profiler를 이용하여 상온 PSF를 측정하는 것이다. 그림 79는 전체 광학부의 후단부에 beam profiler를 설치한 모습이다. NISS의 back focal length가 작아서 렌즈 배럴부에 beam profiler가 바짝 다가간 모습을 볼 수 있다. 그림 80은 시험인증모델에서 측정된 PSF 측정결과이다. 과학임무에서 요구되는 PSF 크기가 $38 \mu\text{m}$ FWHM임을 볼 때, 측정된 $28 \mu\text{m}$ FWHM은 만족되는 결과로 판단된다.

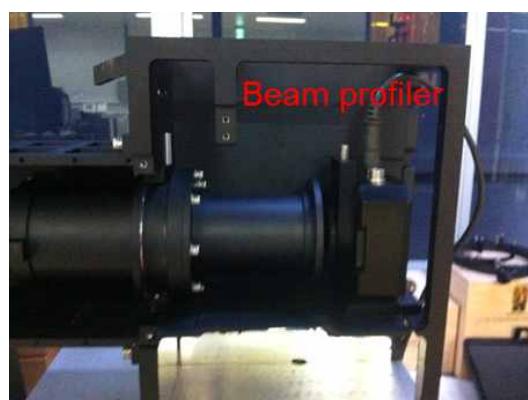


그림 79. 전체 광학계의 PSF 측정 셋업

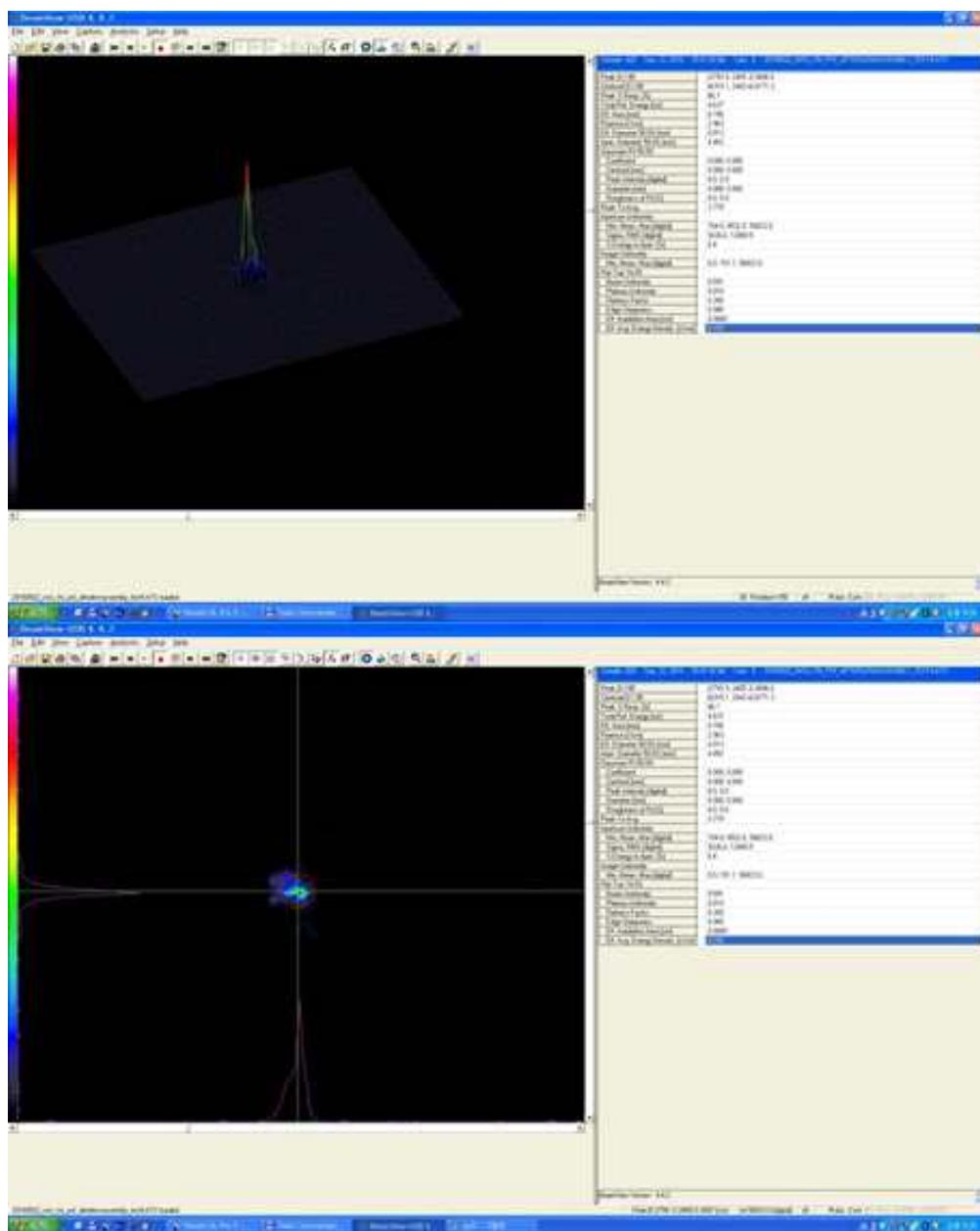


그림 80. 전체 광학계의 PSF 측정결과 – FWHM 16 μ m (비행모델)

다. 광학 및 시스템 성능시험 (Optical and System Performance Test)

(1) Focus Test (EQM)

광학계의 최종성능측정인 Focus Test는 적외선센서를 초점면에 정밀하게 정렬하는 매우 중요한 과정이다. 그림 81은 Focus Test의 개념도를 보여주는 그림이다. Hartmann Mask를 이용하여 PSF의 centroid 차이를 측정하여 가장 정밀한 초점면을 찾을 수 있으며, 초점면의 중심부와 주변부에 걸쳐서 센서의 defocus와 tip-tilt까지 shim을 이용하여 정밀하게 정렬할 계획이다. 그림 82는 Focus Test에 사용될 콜리메이터 시스템을 보여준다. Auto-collimation을 이용하여 정밀한 평행광선을 만들어서 전체 광학계가 저온으로 냉각되는 진공챔버 안으로 입사시킨다. 시험인증모델 시험결과는 그림 83과 같고, 정량적인 시험을 위한 반복시험을 일정상 하지 못하였다.

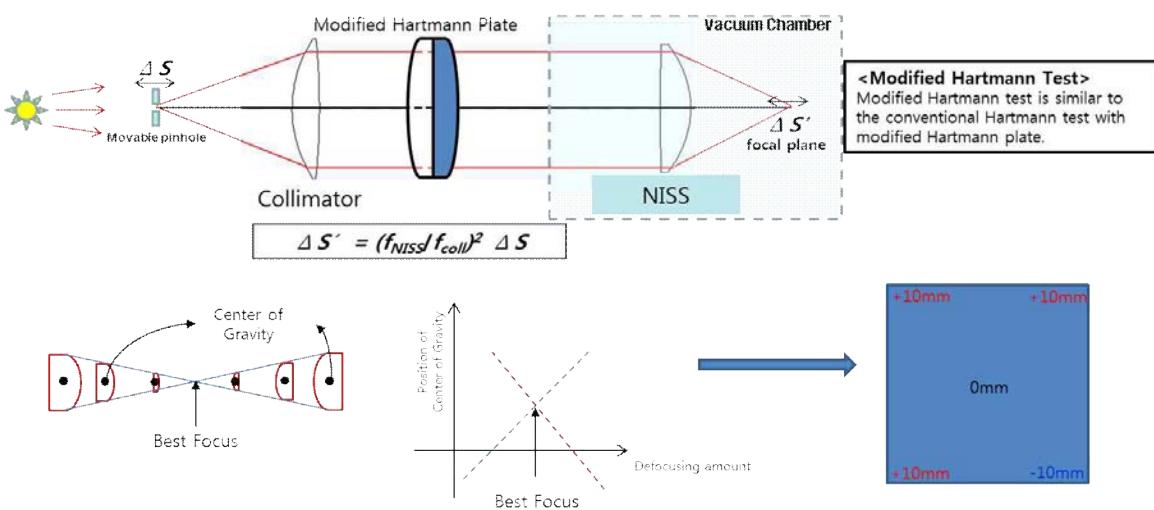


그림 81. Focus Test 개념도

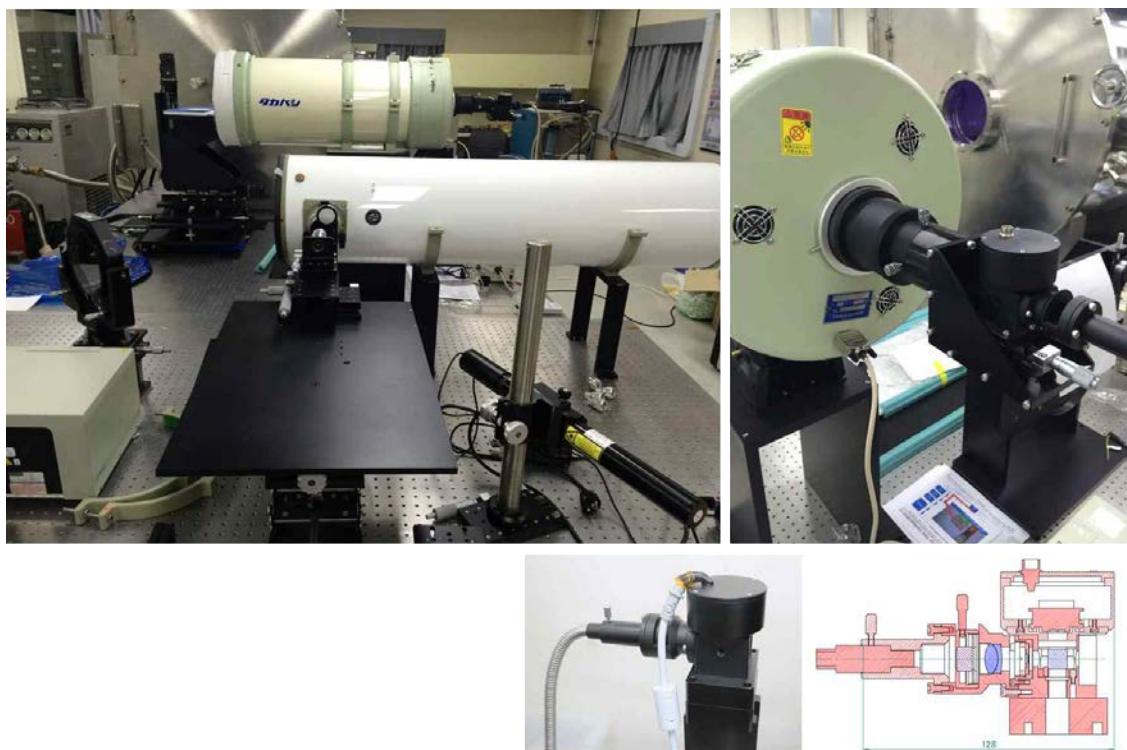


그림 82. 최종광학시험인 Focus Test 시험장비

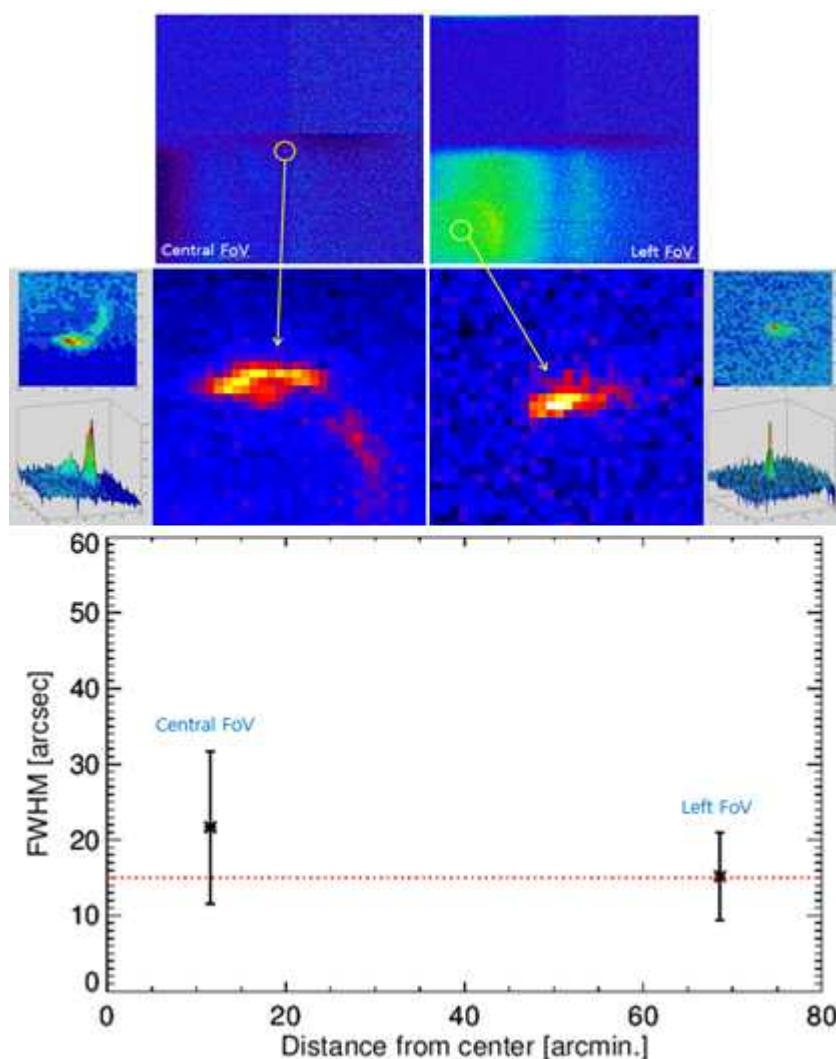


그림 83. Focus Test 결과 (시험인증모델)

<NISS 전자부 개발>

가. NISS 셔터 동작 시험, 방사선 시험 및 최종 FM에서의 제거 결정

2016년 전반기까지 NISS 센서인 H1RG의 보호와 200K Dark 촬영을 위해 셔터를 부착할 계획이었다. 이를 위해 H1RG의 센서 크기와 윈도우의 크기 등을 고려하여 vignetting 이 생기지 않는 크기로 35mm 사이즈의 셔터를 선택하였다. 셔터는 Melles-Griot 사의 04 RDS 004 모델로 결정하였다. 원래 제조사에서 제공하는 셔터 컨트롤러는 NISS e-box에 부착하기 어려움이 있어서 모터 드라이빙에 사용하는 L293 IC를 셔터 드라이버로 사용하였다.

셔터의 기본적은 스펙은 아래와 같다.

- Model : Melles-Griot 04 RDS 004
- Power : 12V/ ±140mA (series - wired)
- Actuation speed : 35 msec
- No. of Blade : 4

셔터의 형상과 실제 모습, 그리고 듀어 내부에 부착되는 모습은 아래 그림과 같다.

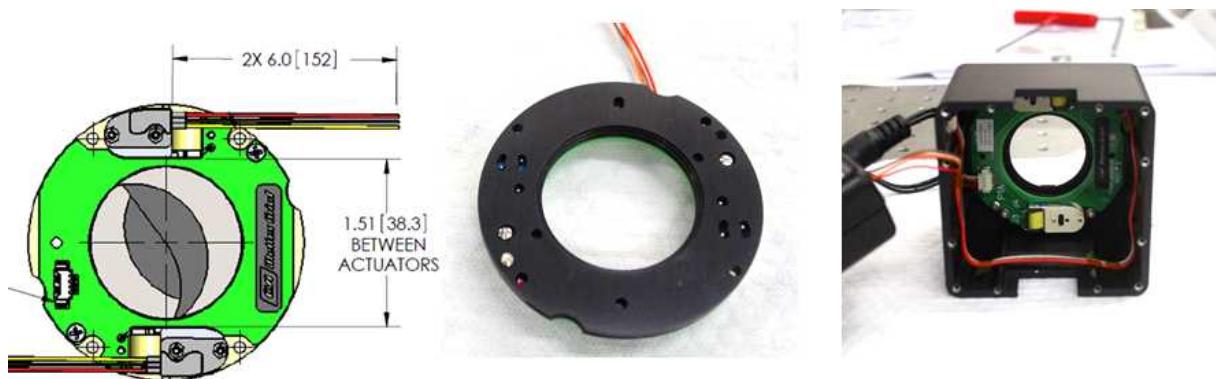


그림 84 셔터 제원과 실제 모습

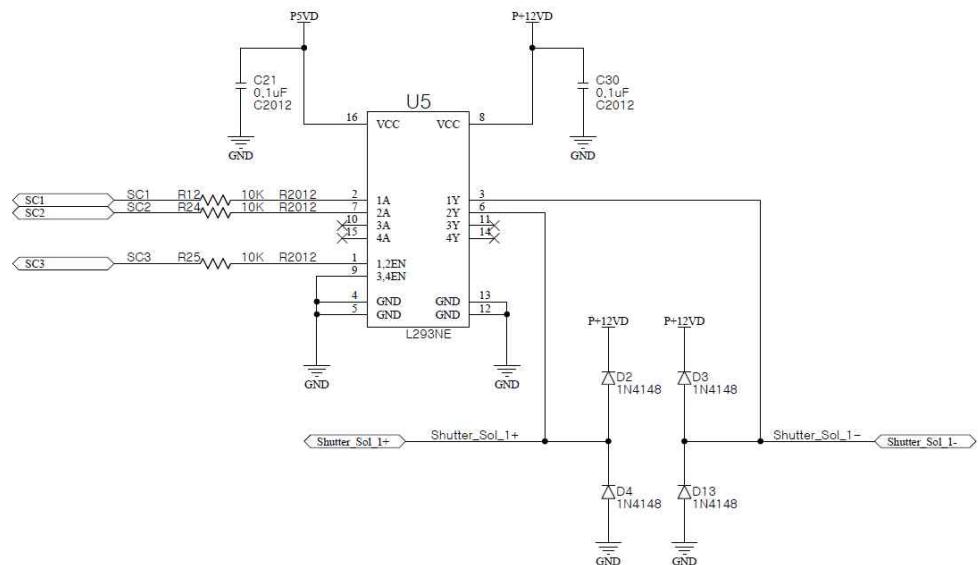


그림 85 셔터 구동 회로(L293)

셔터를 NISS에서 사용하기 위해, 다음과 같은 동작 시험을 진행하였다.

- 기본 구동 테스트 : On/Off 테스트
- 열/진공시험 : 열진공 시험시 동작 테스트로 확인 완료
- 진동시험 : 진동 시험 전후 동작 확인 테스트로 확인 완료
- radiation 테스트 : 50K Rad 조사후 동작 테스트
- 냉각 테스트 : 100K 이하의 온도에서 동작 테스트(약 2000회)

기본 구동테스트와 열진공 시험, 진동 시험시 구동테스트는 On/Off를 확인하면서 진행해서 정상 동작하는 것을 확인하였다.

(1) Radiation Test

셔터 구동부와 셔터의 상태를 확인하기 위한 센서부의 radiation test를 수행하여, 우주공간에서 활용할 수 있는지 확인을 하였다. 시험은 정읍 방사선연구소에서 진행하였으며, 시간당 10K rad를 조사하고 동작 상태를 확인하는 것으로 테스트를 진행하였다. 10K rad부터 50K rad

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

까지 테스트를 수행하였으며, 셔터와 셔터 포지션 센서는 모두 정상 동작하였다. 셔터 포지션
센서는 OPB 821 인터럽트 센서를 활용하였으며 그 모습은 아래 그림 86와 같다.



그림 86 셔터 Radiation test 셋업

표 셔터 Radiation test 결과

		10K rad	20K rad	30K rad	40K rad	50K rad
동작테스트		Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
센서 전압	Open	2.5V	2.5V	2.5V	2.5V	2.5V
	Close	0.1V	0.1V	0.1V	0.1V	0.1V

셔터 상태 확인을 위한 OPB821 센서의 모습은 아래와 같다.



그림 87 OPB 821 센서

플라스틱 케이스의 내부를 분해해 보면, IR LED와 IR 센서로 구성되어 있다.



그림 88. OPB 821 센서 분해한 모습

이 센서를 셔터의 위와 아래에 부착을 해서, 열렸을때는 셔터가 센서를 가로막기 때문에 그 상태를 확인 할 수 있다.

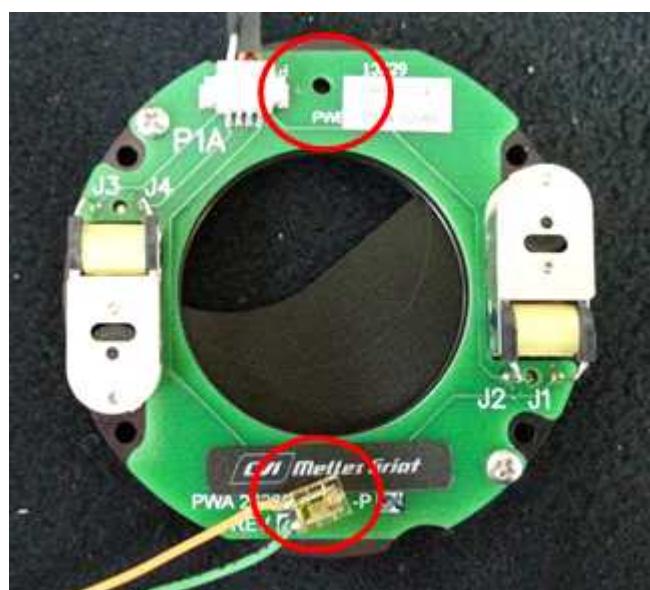


그림 89. OPB 821 센서를 셔터에 부착할 위치

그러나 대부분의 포지션 센서는 IR LED를 사용하는데, 대표적은 IR LED의 상태는 아래와 같다. 보통 $0.89\mu\text{m}$ 에서 피크가 있는 LED의 경우 $0.85\sim0.95 \mu\text{m}$ 에서 IR radiation을 방출한다. 이것은 우리가 사용할 H1RG 센서의 반응 범위 내에 있으므로, 실제 센싱을 할 때만 IR LED를 점등해야 한다.

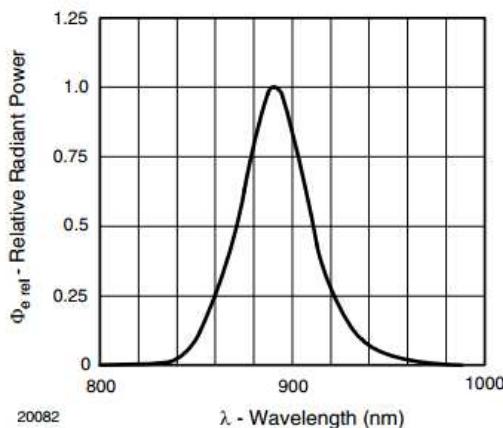


Fig. 7 - Relative Radiant Power vs. Wavelength

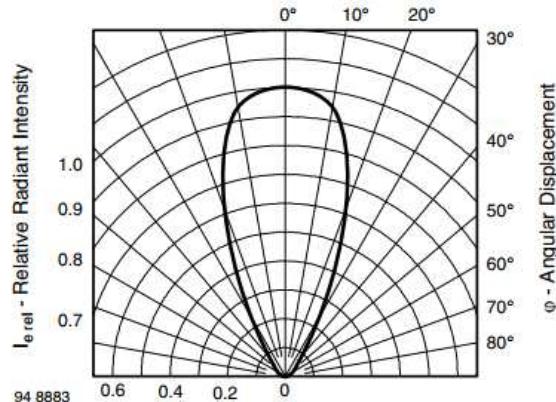


Fig. 8 - Relative Radiant Intensity vs. Angular Displacement

그림 90. IR LED의 특성

(2) 냉각 테스트

Melleos-Griot 사에서는 RDS series 셔터의 동작온도를 230K 정도까지만 보장한다고 했고, 그보다 낮은 온도의 동작을 위해서는 커스텀 제작을 해야 한다고 했다. 셔터가 Dewar 내부에 부착될 경우 100K 이하로 냉각될 것으로 예측하고 있기 때문에, 저온에서의 동작 시험을 반드시 확인해야 한다. IR Labs 사에서 제작했던 CCD camera용 dewar를 사용하여, 액체질소를 주입하고 저온에서의 셔터 동작을 확인하기로 하였다. 아래 그림은 셔터의 동작테스트를 위해, 액체 질소 탱크의 상단부에 알루미늄 블록을 고정하고, 그곳에 셔터를 고정하였다. 셔터의 On/Off 상태를 체크하기 위해 OPB821 센서를 셔터의 상단부와 하단부에 부착하고, 내부 배선을 마무리하여 동작 테스트를 진행하였다. 100K 보다 낮은 온도로 내려갈 수 있도록 액체질소를 주입하고, 온도가 안정화된 후에, 셔터의 동작테스트를 진행하였다. 약 2000회의 On/Off를 반복하여 정상 동작함을 확인 하였다.

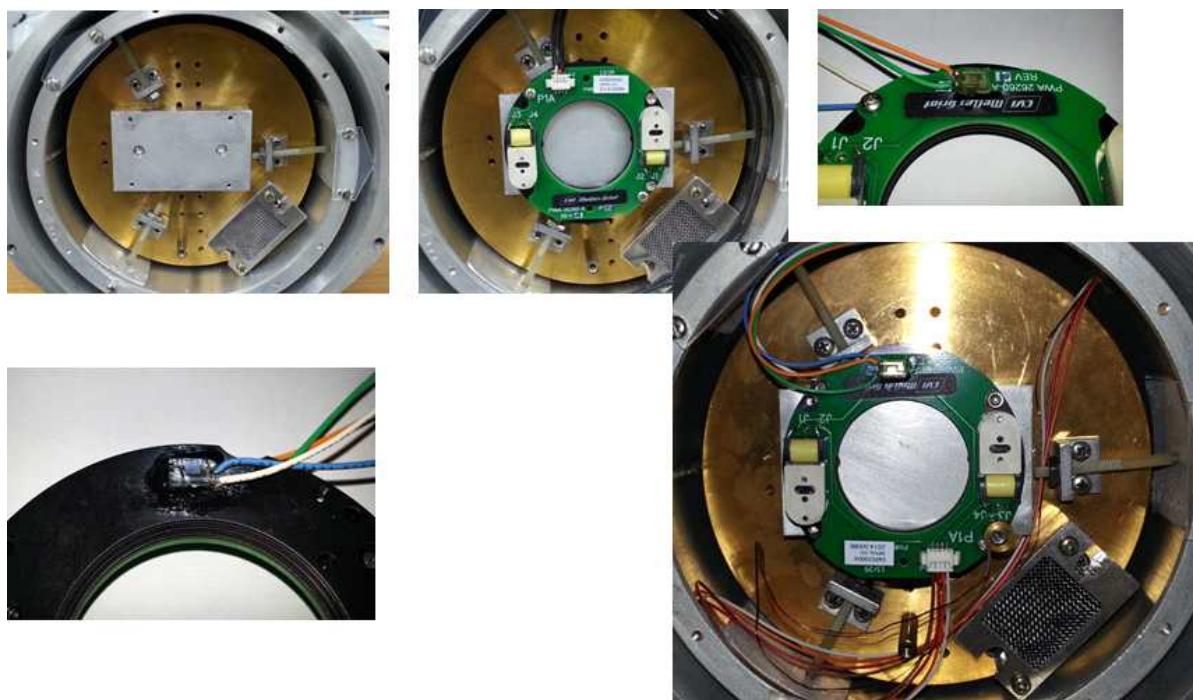


그림 91. 셔터의 냉각 테스트

(3) 셔터 제거 결정

2016년 5월부터 2016년 6월 중 여러 차례의 냉각 시험 과정에서 이미지 센서에 들어오는 열잡음이 예상보다 훨씬 큰 것으로 나타났다. 여러 열잡음 원인을 검토하는 동안, 셔터의 날개가 셔터 프레임에 완전히 밀착되어 있지 않으므로 셔터 날개가 충분히 냉각되지 않을 가능성이 지적되었다. 이럴 경우 셔터 날개에서 나오는 흑체 복사에 의한 열잡음이 상당할 것으로 추정된다. 이에 따라 NISS FM에서는 셔터를 설치하지 않기로 결정하였다.

나. NISS 전자부 FM 설계 및 제작

(1) Focal Plane Board (REV2.0)

Focal Plane Board는 H1RG 센서와 AMP board를 연결하는 역할을 한다.

EQM FPB 비교하여 다음과 같은 수정 보완을 하였다.

- 저온용 capacitor (NPO ceramic (NPO/C0G/C0H) type) 로 교체하여 저온 성능 향상
- Dewar에서 외곽 구조물까지의 Flexible cable 길이는 70mm로 하되, 내부의 배선을 200mm로 연장하여 열 전달 최소화

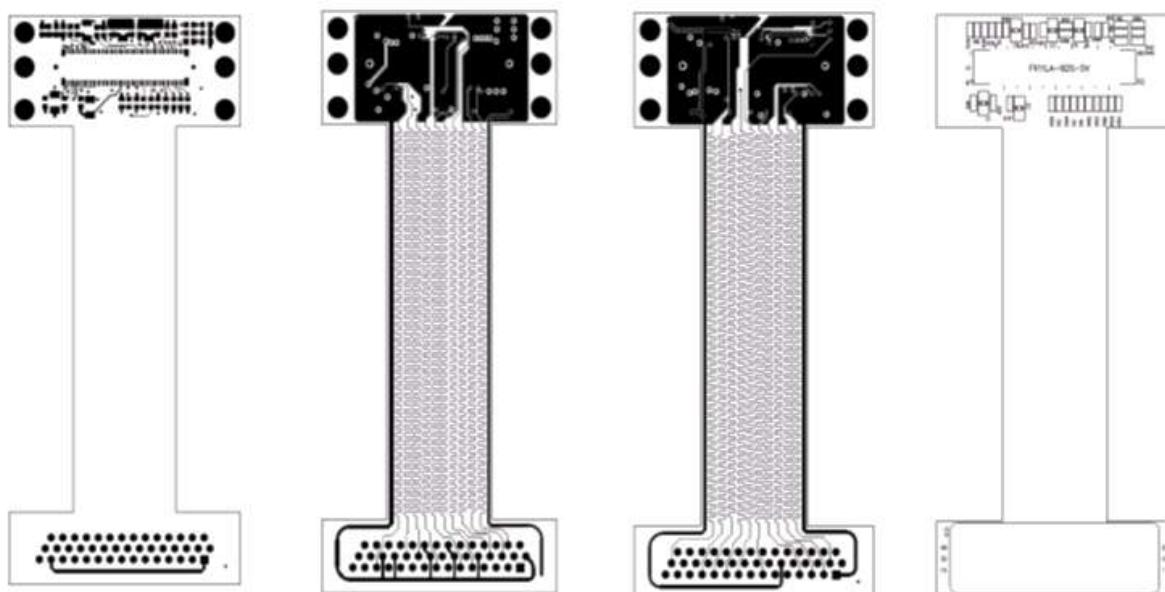


그림 92. NISS Electronics FM Focal Plane Board 설계 형상

(2) AMP Board (REV 2.0)

AMP board는 Bias voltage setting, Signal amplifying, 그리고 AD conversion 역할을 한다.

FM AMP board는 EQM과 비교하여 다음과 같은 설계 변경을 하였다.

- 방사선 시험 결과 아날로그 Power regulator LT1761의 성능 저하를 고려하여 아날로그 7V 전원을 9V로 상향 조정
- H1RG 센서 최적화를 통해 $V_{bias} = 2.45V$, $V_{dsub} = 0.55V$, $V_{reset} = 0.30V$ 로 세팅
- FM board의 설계 오류에 따른 보드 수정 사항
 - 1) U4 ADA4941 -VS 전원에 연결된 R8 삭제
 - 2) U13, U14의 전원 P7VA를 P9VA와 점퍼 연결
 - 3) CNV, SDO, SCK와 J_CNV, J_SDO, J_SCK 연결이 안되어 있어 납땜 연결

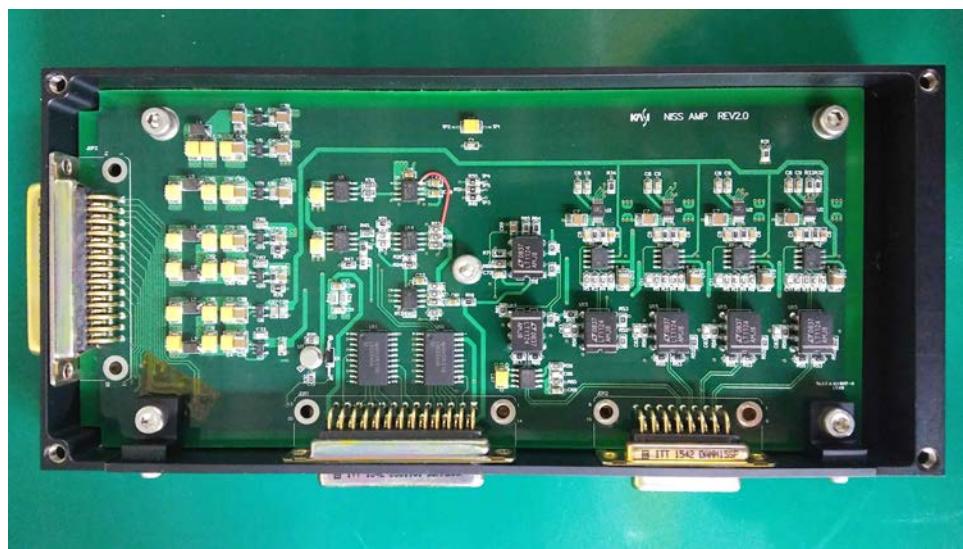


그림 93. NISS FM AMP board 사진

(3) DSP Board (REV5.0)

DSP board는 아래와 같은 역할을 하며 MIRIS에 사용하였던 설계를 바탕으로 설계하였다.

주요 기능은 Array clock generating, Command processing, Data storing & processing, HK telemetry managing, CAN Bus interface, Serializer interface, Shutter control, HK data gathering이다.

FM DSP board는 EQM과 비교하여 다음과 같은 설계 변경을 하였다.

- Shutter controller U5 L293NE 및 monitoring U9 ADG772 기능 추가
- CAN 통신용 부품으로 U25, U26 MAX3051 사용

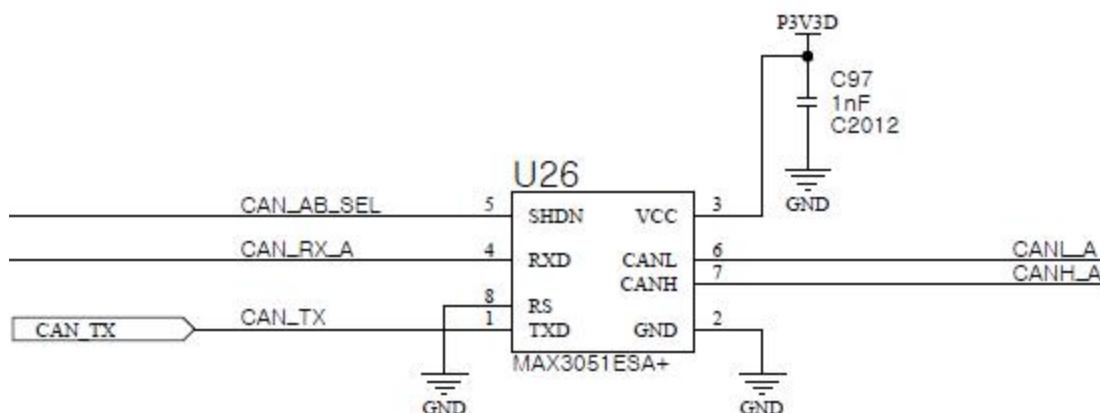


그림 94. FM DSP CAN 통신 설계: CAN_AB_SEL 명령으로 CAN A, B 선택

- Bi-level CMD interface 변경

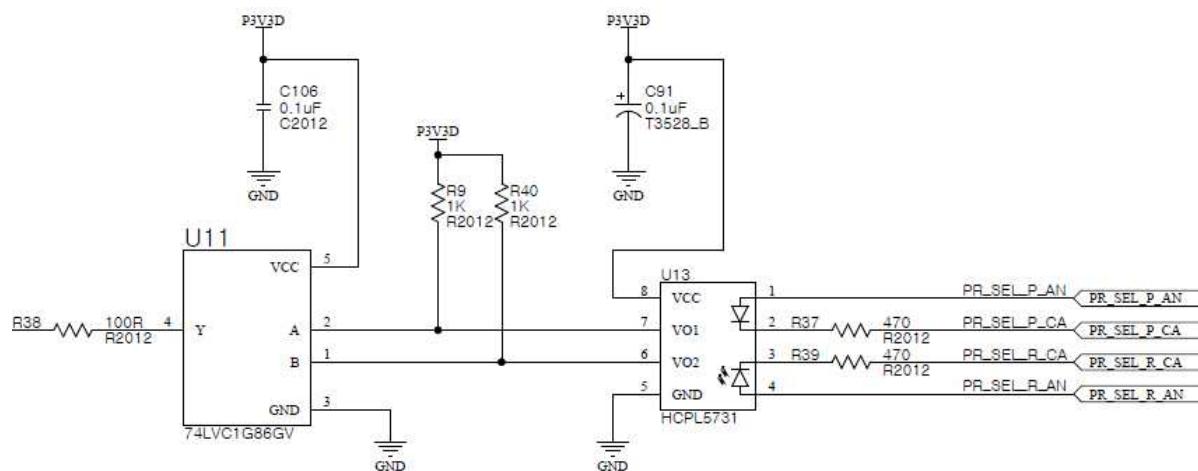


그림 95. FM DSP CAN 선택 Bi-level CMD Interface 설계

- FM board의 설계 오류에 따른 보드 수정 사항
 - 1) U9 pin2 와 U27 pin1 연결 보드 배선 끊음

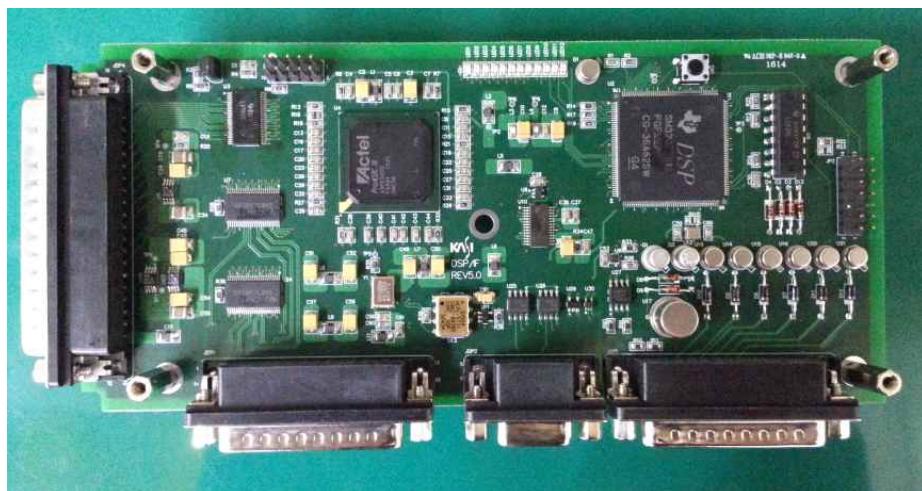


그림 96. NISS FM DSP board 사진

(4) PWR Board (REV3.0)

PWR board는 아래와 같은 역할을 하며 MIRIS에 사용하였던 설계를 바탕으로 설계하였다.

주요 기능은 DC/DC power conversion, Power regulation, Power on/off Control이다.

FM PWR board는 EQM과 비교하여 다음과 같은 설계 변경을 하였다.

- U4 LT3080 추가하여 Cooler_On/DSP_Off 때 cooler temperature 전원 공급
- U1 HCPL5731을 사용하여 Cooler on/off Bi-level CMD interface

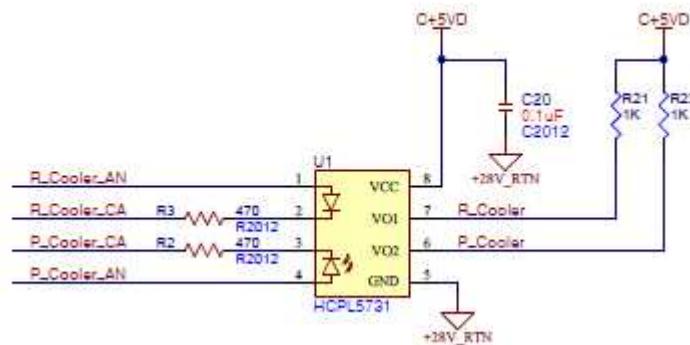


그림 97. Cooler on/off 회로

- FM board의 설계 오류에 따른 보드 수정 사항

- 1) U7 pin4를 U3 pin1이 아닌 U3 pin7에 연결하여 아래와 같은 모드 설정

Mode	초기운영	Cooling	Cooling	관측
P_Cooler	0	1	0	1 (Open)
R_Cooler	0	0	1	1 (Open)
Cooler	On	On	On	Off
E-Box	On	Off	Off	On

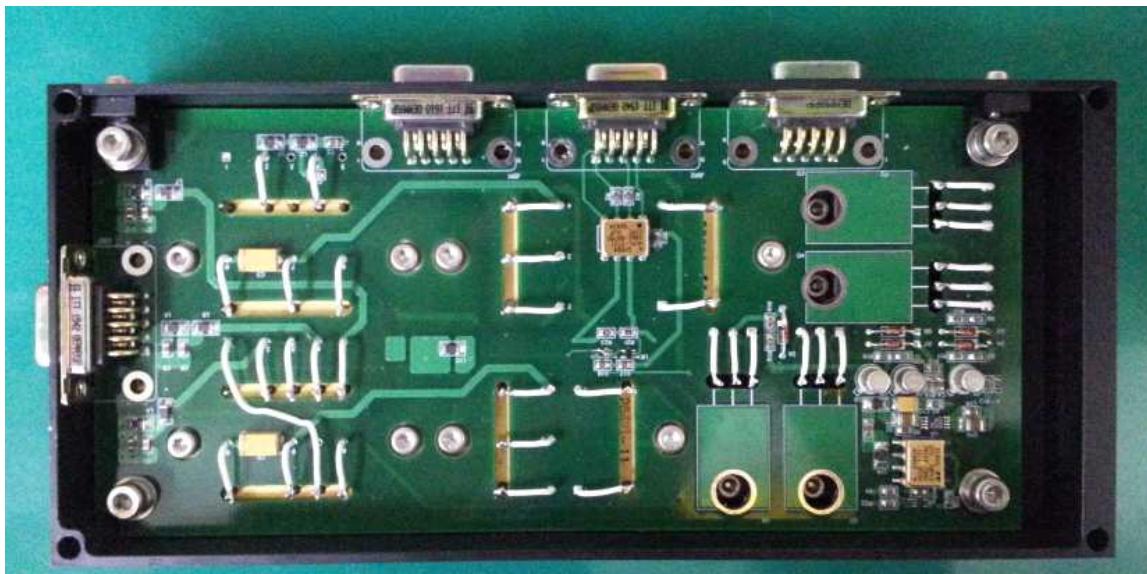


그림 98. NISS FM PWR board 사진

(5) PWR Board (REV7.0) 전자부 노이즈 개선

NISS 전자부 비행모델을 최종 조립한 후 적외선센서를 연결하여 시험한 결과 다음 그림처럼 DC power supply가 아닌 NISS PWR board를 사용하면 전자 잡음이 최대 8배 커지는 현상을 발견하였다. 전자 잡음은 실제 적외선센서 영상에서 연속되는 두 프레임을 차분하는 형태로 측정하였다.

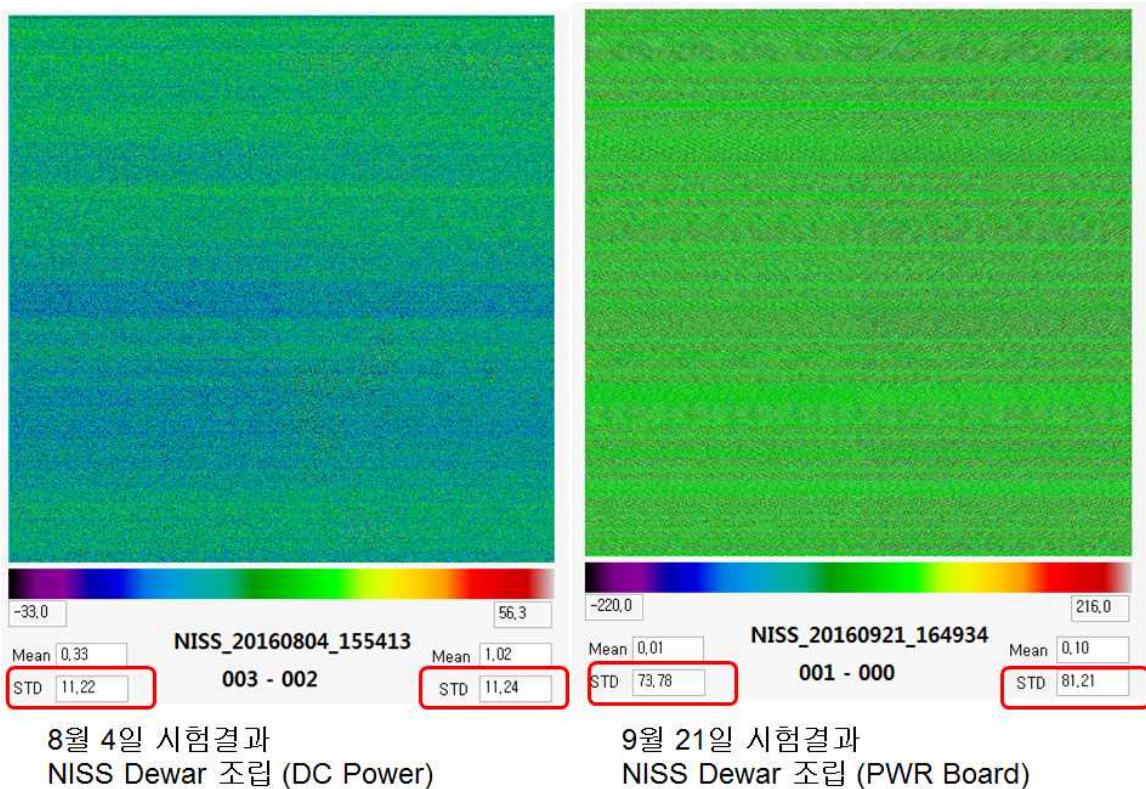


그림 99. NISS 전자부 잡음 측정 결과 (적외선 센서 영상 차분값)

이러한 전자부 잡음 문제를 해결하기 위해 아래와 같은 3가지 사항을 개선하였다.

-적외선센서 (FPB, Focal Plane Board) 상에서 극저온용 컨덴서 사용 및 analog ground를 connector shield와 연결

-FPB와 AMP를 연결하는 connector/cable에서 digital 신호와 analog 신호를 분리하고 analog 신호는 shield cable을 사용

-PWR board의 DC-DC converter 출력단에도 EMI filter를 부착

다음 그림은 위와 같은 개선 사항으로 설계/제작된 FPB와 shield cable을 보여준다.

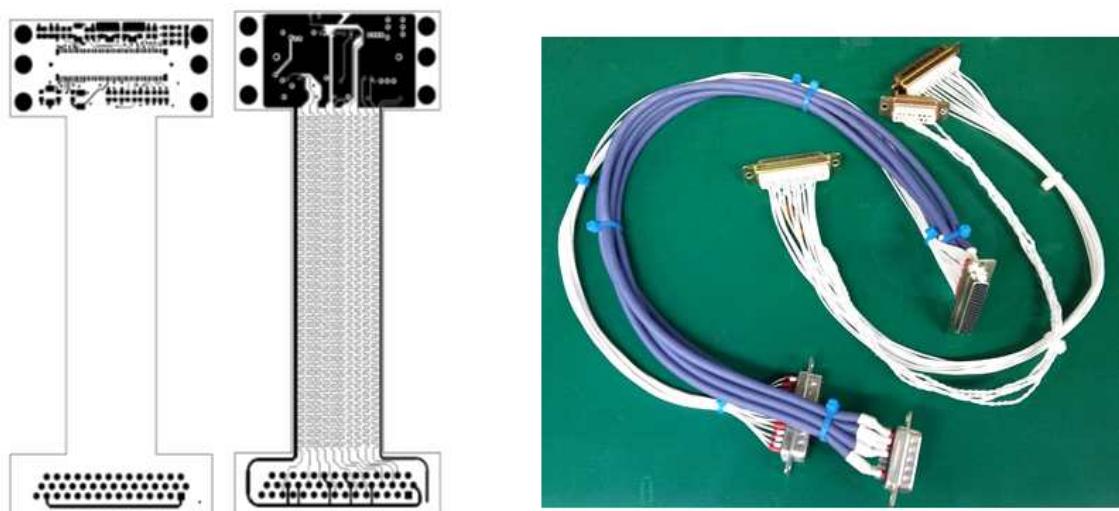


그림 100. NISS 전자부 FPB 설계 결과 (좌) 및 shield cable 제작 결과 (우)

NISS PWR board에서 사용하는 Interpoint 사의 DC-DC converter는 아래와 같은 잡음 현상이 발견되었으며 이를 해결하기 위한 필터 시스템이 Interpoint 사에서 직접 작성한 문서에서 권장되었다. (Measurement and Filtering of Output Noise of DC-DC Converters, INTERPOINT)

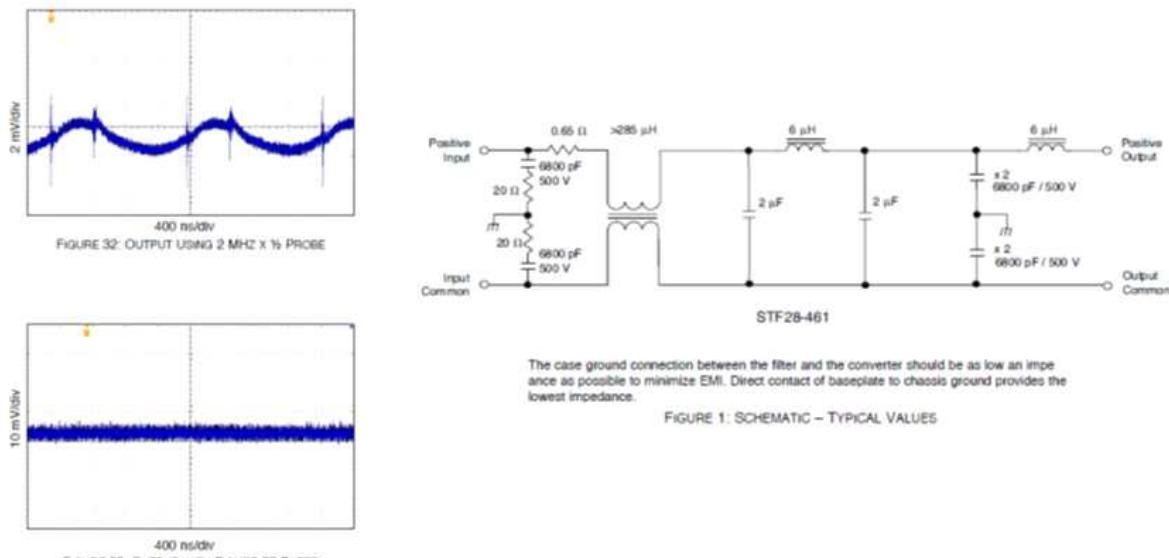


그림 101. Interpoint 사의 DC-DC converter 잡음 (좌상), 필터 (우), 및 잡음 해소 결과 (좌하)

실제로 필터를 적용하여 오실로스코프로 측정한 결과 관측된 잡음이 해소되었음을 다음 그림에서 알 수 있다.

❖ DC-DC 출력단에 EMI filter 부착 시험 – 500 kHz 대역 노이즈 감소 확인



그림 102. DC-DC converter 출력단에 EMI filter 부착 전 (좌), 및 부착 후 (우) 결과

다음 그림은 NISS FM PWR board 회로도 및 배치도 수정 결과를 보여준다.

❖ PWR REV7.0 회로 설계

- DC-DC +5V (Digital), +12V(Analog) 출력단에 EMI filter 추가
- AGND와 PGND (Digital ground) 분리

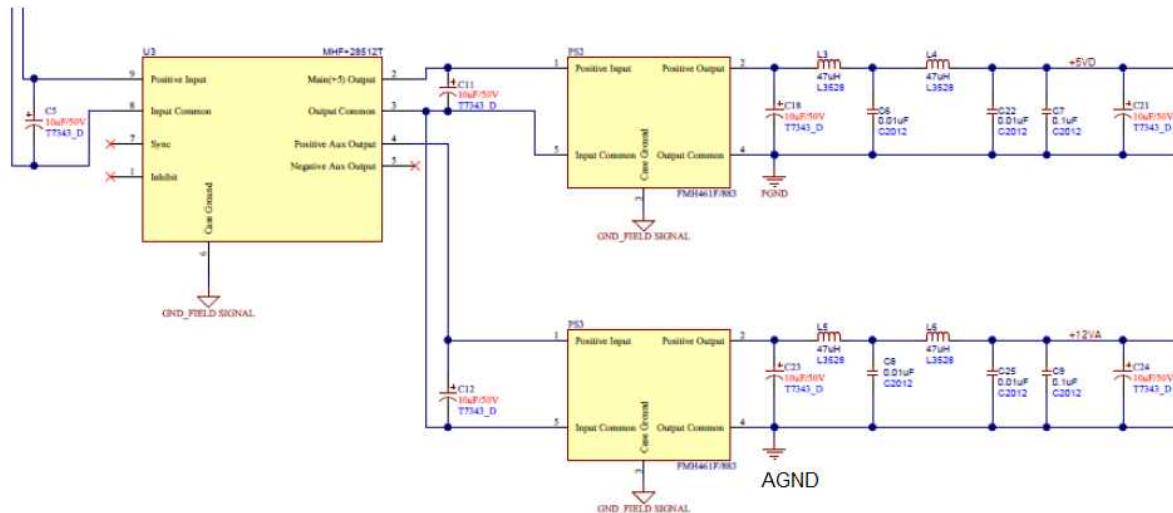


그림 103. NISS PWR REV7.0 회로도 수정 결과

❖ PWR REV7.0 레이아웃 설계

- AGND와 PGND (Digital ground) Ground plane 분리

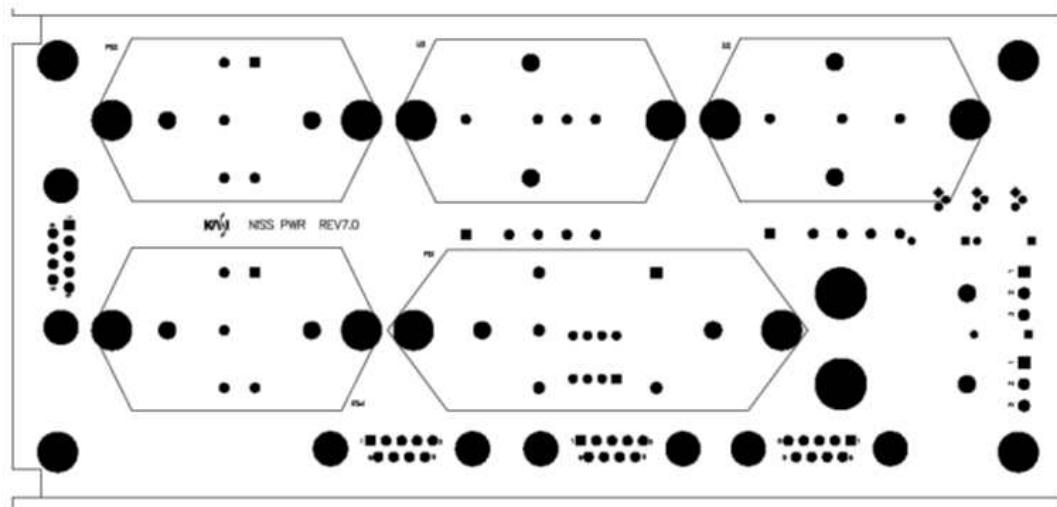


그림 104. NISS PWR REV7.0 배치도 수정 결과

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

다. NISS GSE 및 Flight software 개발

NISS의 DSP/IF 보드에는 TI사의 TMS320F2812 DSP와 Microsemi의 A3PE3000L FPGA가 탑재되어 각각 버스시스템과의 명령어/상태 전송 및 데이터 전송을 담당한다. NISS와 버스 시스템과의 인터페이스를 검증하기 위하여 CAN 인터페이스 및 고속 데이터 전송 시스템 NI PXIe-6536을 갖춘 GSE(Ground Station Electronics)를 개발하여 시험하였다.

(1) NISS GSE (Ground System Electronics) 시스템

NISS GSE 시스템은 NISS와 명령어/상태 정보의 통신을 위한 CAN 인터페이스 모듈, 그리고 NISS로부터 데이터를 전송받기 위한 고속 데이터 전송 시스템 모듈 및 GSE PCB 카드, 그리고 이 모든 시스템을 제어하기 위한 PC로 구성되어 있다. CAN 인터페이스 Module은 National Instruments사의 USB-8473 모듈로서 제어 PC와 USB로 연결된다. 천문연에서 자체 제작한 GSE 카드는 NISS에서 보내오는 고속 시리얼 (직렬) 데이터를 32비트 폭의 병렬 데이터로 바꾸어서 NI 사의 고속 데이터 전송 장치인 PXIe-6536으로 전송한다. PXIe-6536은 제어 PC와 패러렐 인터페이스로 연결되어 있다.

따라서 GSE 소프트웨어는 NI 사의 CAN 인터페이스 및 고속 데이터 전송장치를 제어하는 드라이버를 이용하면, NISS와 통신을 할 수 있다. 프로그래밍 언어는 C로 작성하였는데, 개발 환경은 NI에서 제공하는 소프트웨어 LabWindows/CVI 2013을 이용하였다.

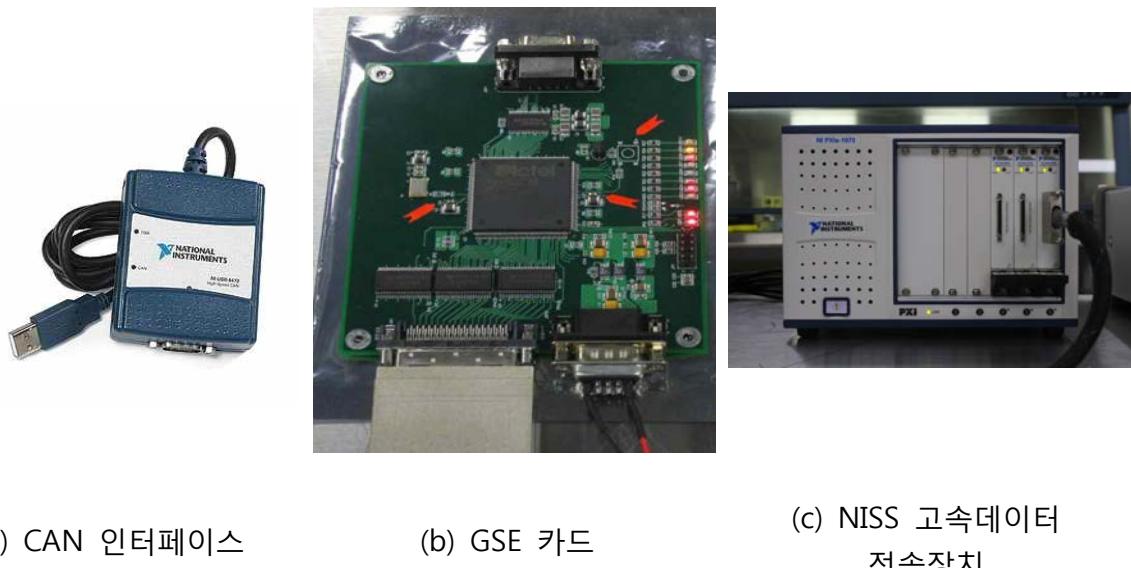


그림 105. NISS GSE 시스템 하드웨어

Software GUI는 크게 2개의 패널로 구성되어 있는데, 하나의 패널에서는 NISS의 제어와 관계되는 모든 설정을 담당하고, 또 다른 패널에서는 GSE에서 보내오는 raw data를 FITS 포맷으로 변환해서 저장하고, 이와 동시에 저장한 image 데이터를 화면에서 표시해주는 역할을 한다. (그림 106 참조)

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

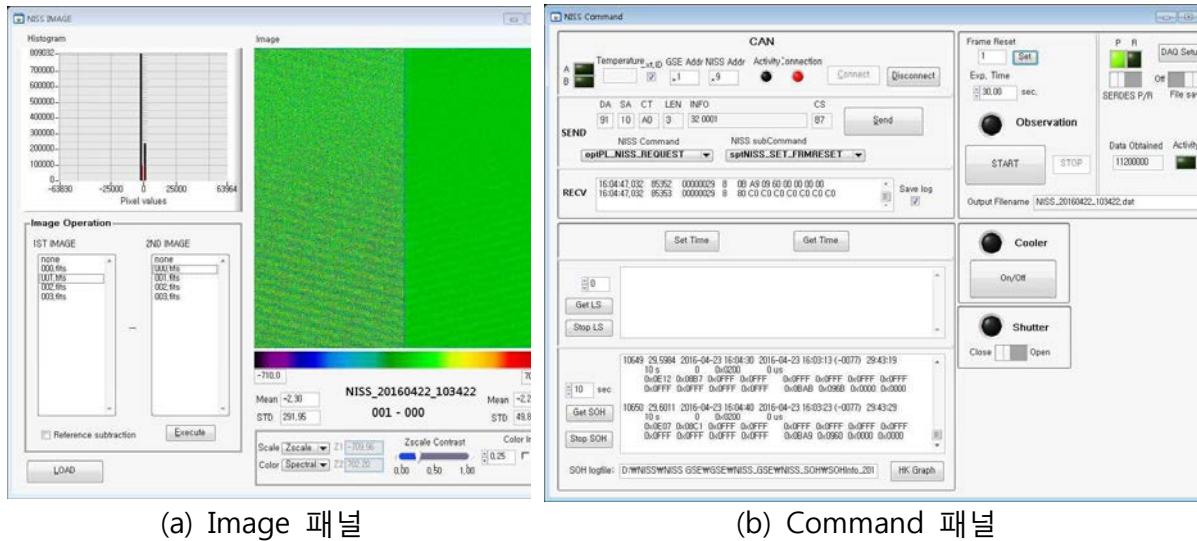


그림 106. GSE 소프트웨어 GUI 모습

프로젝트 시작 때에 NISS에 채택하기로 했었던 HAWAII-1RG 센서는 1024×1024 픽셀로 구성되어 있으며, 센서는 512 픽셀 폭을 가지는 2개의 영역으로 나뉘어서 각 영역 별로 동시에 데이터를 내보내게 된다. 2016년 중반기에 HAWAII-2RG 센서로 교체하기로 결정하였지만, NISS는 HAWAII-2RG 센서의 전체 영역을 다 읽어내는 것이 아니라 중앙부 1024×1024 영역만을 사용하므로, 데이터 포맷 및 데이터 전송량은 HAWAII-1RG 센서를 쓸 때와 동일하다. NISS의 광학적 성능과 전송 데이터 양을 고려하여 2×2 binning을 하므로, 전자부를 통해 OBC로 전송되는 데이터는 512×512 픽셀 포맷이 된다. NISS에서 OBC로 전송되는 하나의 데이터 패킷에 2개의 리드아웃 채널로부터 출력되는 한 행의 데이터를 다 포함하도록 정하였다. NISS 데이터 패킷의 형식은 아래와 같다.

각 데이터 필드는 아래와 같다.

-FS: Frame Synchronous (2 bytes),

매 패킷 시작을 알림

-ID: Payload ID (ISSS or NISS) (2 bytes)

[예. ISSS=0xA000, NISS=0xB000]

-FC : Frame Counter (2 bytes)

하나의 대상 관측에 속한 프레임을 각각에 부여된 프레임 Counter이다. (0~65535)

-PC: Packet Count (2 bytes),

전송된 패킷 수를 표시한다. Lab. mode의 경우 한 frame의 데이터를 전송하려면 4096개의 패킷이 필요하고, Flight mode의 경우는 512개의 패킷을 갖는다.

-HK: House Keeping Data (8 bytes)

초 단위로 시간 정보를 기록한 MIRIS보다 더 세밀한 단위의 시간 정보가 필요하다고 판단하여, 이를 수용하기 위해 HK의 데이터 폭을 8 bytes로 정한다.

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

HK 데이터 세부 포맷은 추후 결정할 예정이다.

-SD: Science Data (1024bytes)

NISS 센서의 픽셀 당 데이터 크기는 2 byte이다.

1개의 데이터 패킷에 NISS 센서 2개의 readout 채널 별로 한 행에 해당하는 256 픽셀의
데이터를 기록한다. 따라서 총 2 byte * 256 pixel * 2 채널 = 1024 byte의 크기가 필요하다.

기록 순서는 각 채널 별로 한 개의 픽셀 데이터를 순차적으로 기록한다. [예. A0, B0,
A1, B1, … A254, B254, A255, B255]

-CS: Check Sum (8 bytes)

CSA: A0~A255 데이터에 대한 Checksum 기록(4 bytes)

CSB: B0~B255 데이터에 대한 Checksum 기록(4 bytes)

이로써 NISS 데이터 패킷 크기는 모두 1048 bytes이다. Flight mode의 경우, NISS의 각 채널
별로 1행 데이터를 512회 전송해야 프레임의 데이터를 다 전송하게 된다. 따라서 NISS 센서 1
프레임 데이터를 전송하기 위해 모두 512개의 데이터 패킷이 필요하며, 이는 총 $512 * 1048$
bytes = 536,576 bytes에 해당한다.

(1.1) SERDES LVDS 인터페이스의 통신 데이터 폭

NISS는 SERDES LVDS 인터페이스를 이용해서 OBC로 관측 데이터를 전송한다. SERDES LVDS
는 총 21 bit의 데이터 폭을 갖고 있는데, NISS는 이를 중 16bit 데이터 폭만을 사용하며 데이터
를 전송하며 나머지 5bit 전송 폭은 dummy 데이터로 채운다. SERDES Primary 채널로 데이터
를 전송할 경우 나머지 5bit를 전부 1로 기록하며 (1111 1b), SERDES Redundancy 채널로 데이터
를 보낼 때는 5bit 중 상위 4bit를 1, 가장 마지막 bit를 0으로 (1111 0b)로 기록한다.

(1.2) 데이터 압축

OBC는 지상국으로 전송하기 전에 관측 데이터를 압축할 수 있다. 그러나 과학 데이터의 압축
과정에서 예상 못한 데이터의 손실이 발생할 수 있으므로, 이를 방지하기 위해 과학 데이터를
압축하지 않고 그대로 지상국으로 전송하도록 한다.

FPGA Data packetizing

1) Lab mode

Lab. Mode에서는 H1RG 1048x1048 pixel 전부와 Reference, Feedback 신호까지 모두 SERDES
를 통해 전송한다. FPGA 안에 1048 bytes 크기의 FIFO 4개를 만들어, 하나의 FIFO가 모두 차면
그 FIFO의 데이터를 SERDES를 통해 전송한다. 전체 데이터의 크기는 다음과 같다.

- 1 Frame = 1048 bytes x 4 packets x 1024 lines = 4.29 Mbytes

2) Flight mode

Lab. Mode에서는 H1RG 1048x1048 pixel을 Reference 및 Feedback 신호를 이용하여 보정한
후 2x2 binning을 하여 총 512x512 pixel 데이터로 만들어 SERDES를 통해 전송한다. FPGA 안
에 1048 bytes 크기의 FIFO 4개를 만들어, line 두 개를 읽을 때 네 개의 FIFO가 모두 차면 각

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

FIFO의 4개 unit 데이터를 더한 값을 SERDES를 통해 전송한다. 전체 데이터의 크기는 다음과 같다.

- 1 Frame = 1048 bytes x 1 packets x 512 lines = 0.54 Mbytes

FPGA Functional requirement

- Array clock generation (100 kHz)
- ADC control (20MHz clock input)
- Transmit a packet (1048 bytes) via SERDES

DSP data packetizing

- Main loop (packet ID, packet Count, HK read , etc.)
- Write packet header to FPGA for every line sync.

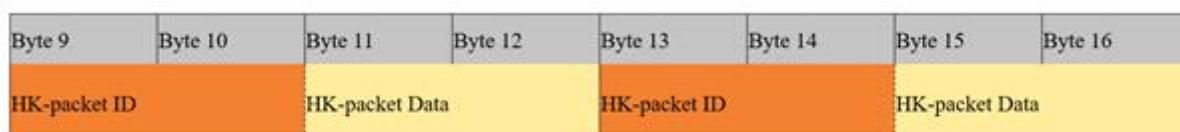
(1.3) DSP to FPGA Memory Mapping

표. DSP 맵핑 메모리 목록

Item	DSP address	Data	Remark
Packet Header	0x 088010	FC (16bits)	Frame counter
	0x 088011	PC (16bits)	Packet counter
	0x 088012	HK-1(16bits)	HK1, HK5, HK9, HK13
	0x 088013	HK-2(16bits)	HK2, HK6, HK10, HK14
	0x 088014	HK-3(16bits)	HK3, HK7, HK11, HK15
	0x 088015	HK-4(16bits)	HK4, HK8, HK12, HK16
Command	0x 08800F	OBS START/STOP (1bit)	D[0] 0/1 : Stop/Start
	0x 088008	SERDES P/R select (8bit)	0x1: Primary 0x2: Redundancy
	0x08800B	Frame reset no. (8bits)	Value range: 1~255 Value 1: No clocking
	0x08801F	FPGA mode (16bits) 8 th bit:datamode 9 th bit:operationmode 10 th mode:Sampling mode	0:Lab, 1:Flight 0:Test, 1:Data 0:Multiple, 1:Fowler Initial setting: 010
	0x08801E	DSP Reset stop (1bit)	Always 1

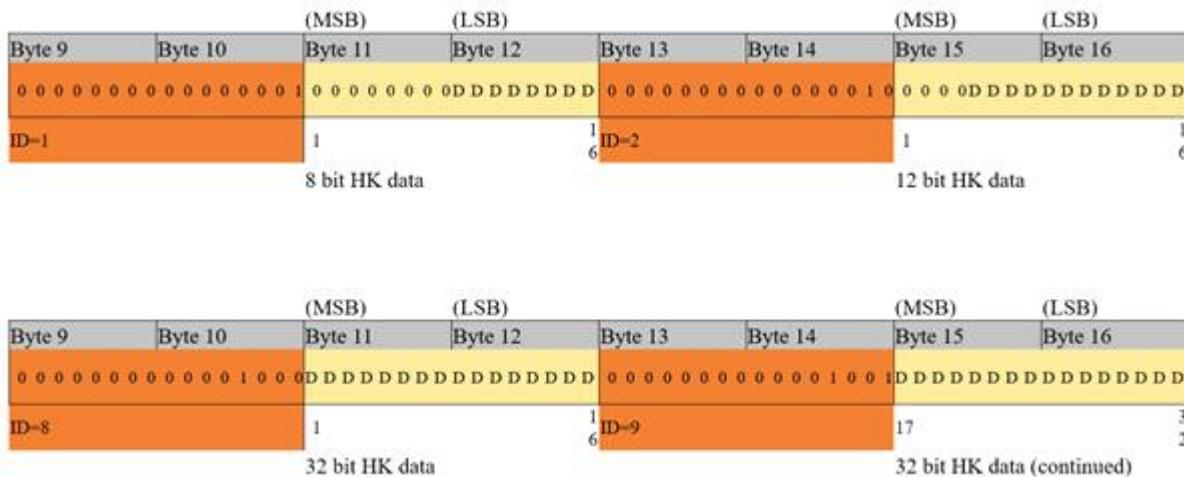
(1.4) HK (House Keeping) 데이터

NISS 데이터 패킷에는 8 byte의 공간이 House Keeping 정보를 위해 할당되어 있다. 이 8 byte 공간의 배치는 아래와 같다.



DSP는 8 byte 공간을 2개의 4 byte 단위로 나눠서 기록한다. 각 4 byte 단위는 다시 2개의 WORD로 나뉘며(1 WORD = 2 byte), 첫 WORD에 HK 패킷 ID가 기록되고, 두번째 WORD에

실제 HK 정보가 기록된다. 1 WORD보다 짧은 HK 정보는 LSB (Least Significant Byte)부터 기록되며, MSB의 남는 비트는 0으로 채워진다. 1 WORD보다 더 긴 HK 정보는 1 WORD씩 나눠 어져 다음 HK 패킷에 연속적으로 기록된다. 한편 HK 패킷 ID는 실제 HK 정보가 기록되는 패킷을 1로 정하며 모든 HK 정보를 기록할 때까지 1씩 계속 증가한다. 모든 HK 정보가 다 기록된 후에는, 모든 4 byte HK 기록 공간에 0을 기록한다. HK 정보 기록 포맷 예를 아래 그림에서 보였다.



DSP가 기록하는 HK 정보의 내용 및 길이는 아래 표와 같다.

표 NISS Data packet header 포맷

HK패킷ID	이름	길이 (bit)	비고
1~2	NISS Current Time	32	2개HK 패킷에 나눠서 기록
3~4	NISS Running Time	32	2개HK 패킷에 나눠서 기록
5~6	SOH Run number	32	2개HK 패킷에 나눠서 기록
7	OBS Info	16	표 NN 참고
8	HK01	12	DSP 보드 온도
9	HK02	12	H1RG 센서 온도
10	HK03	12	Dewar Exterior 온도
11	HK04	12	Cooler body 온도
12	HK05	12	M2 mirror module 온도
13	HK06	12	M1 mirror module 온도
14	HK07	12	Main body frame 온도
15	HK08	12	Radiator 온도
16	HK09	12	Reserved
17	HK10	12	Reserved
18	HK11	12	Reserved
19	HK12	12	Reserved
20	HK13	12	DSP-IF 보드 Ref. voltage 1
21	HK14	12	DSP-IF 보드 Ref. voltage 2
22	HK15	12	DSP-IF 보드 AGND
23	HK16	12	DSP-IF 보드 AGND
24	NISS Status word	16	Table 3 참조.

25	Total frame number	16	NISS 총 누적Frame number
26	Reset number	8	NISS Frame reset number
27	Frame_Num_AR	8	Reset 후의 Frame number
28~31	AcsTime	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
32~35	AcsQuaternion[0]	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
36~39	AcsQuaternion[1]	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
40~43	AcsQuaternion[2]	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
44~47	AcsQuaternion[3]	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
48~51	AcsPosition[0]	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
52~55	AcsPosition[1]	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
56~59	AcsPosition[2]	64	4개 HK 패킷에 나눠서 기록
0	(no data)	0	HK 데이터를 기록 안하는 경우, ID 및 데이터값을 모두 0으로 쓴다.

표 NISS Status word 구조

Bit	Status	Description
15(MSb)	0:Normal, 1:Emergency	NISS Emergency flag
14	0	Reserved
13	0	Reserved
12	0	Reserved
11	0:Primary, 1:Redundancy	Cooler feedback sensor
10	0:All sampling, 1:Folwer sampling	FPGA sampling mode
9	0:Test mode, 1:Data mode	FPGA operation mode
8	0:Lab mode, 1:Flight mode	FPGA data mode
7	0:LifeSign flag Off, 1:LifeSign flag On	NISS LifeSign periodic reply status
6	0:SOH_Info flag Off 1:SOH_Info flag On	NISS SOH_Info periodic reply status
5	0:Off, 1:On	NISS Cooler status
4	0:Close, 1:Open	NISS shutter status
3	0:Standby, 1:Observation	NISS Observation mode
2	0	Reserved
1	0:SERDES P, 1:SERDES R	SERDES P/R channel information
0(LSb)	0:CAN A, 1:CAN B	CAN A/B channel information

1개의 데이터 패킷에 2개 HK 정보 세트가 기록될 수 있으므로, 위 표에 나열된 모든 HK 정보를 기록하려면 모두 30개의 NISS 데이터 패킷이 필요하다. HK 정보는 NISS 개별 frame에 1회만 기록된다. NISS Flight mode에서는 1개 frame은 512개의 데이터 패킷으로 나뉘어 전송되는데, HK 정보는 이들 512개 패킷 중 처음 30개의 패킷에 기록되며, 나머지 패킷들에는 HK field가 전부 0으로 기록된다.

DSP는 SOH 정보 전송할 때마다 매번 HK 정보를 수집한다. DSP는 이렇게 수집한 HK 정보를 FPGA에도 전송한다. 이 전송 작업은 NISS 전자부의 FPGA와 동기되어 이루어지는데, 동기화는 FPGA가 발생시키는 인터럽트 신호에 의존한다. NISS 전자부의 FPGA는 매 데이터 패킷을 처리할 때마다 DSP로 인터럽트 신호를 송신한다. DSP는 FPGA가 발생시키는 인터럽트를 수신할 때마다 Housekeeping 정보를 표에 기록된 포맷대로 외부 메모리(=FPGA)에 기록을 하며, FPGA는 DSP가 전달하는 HK 정보를 받는 그대로 매 데이터 패킷에 추가한다. 수집한 HK 정보를 모두 다 전송한 후, DSP는 같은 frame에 해당하는 나머지 패킷에 대해서는 모든 HK 정보를 0으로 기록한다.

(1.5) NISS Command 요약

NISS에서 제공하는Command는 다음과 같다.

-NISS Command List

Cmd Type (CT)	Value	Description	Direction
optNACK	0x0F	Cmd Err Reply	NISS → OBC
optPL_NISS_REQUEST	0xA0	NISS Sub-Command Request	NISS ← OBC
optPL_NISS_REPLY	0xA8	NISS Sub-Command Reply	NISS → OBC
optECHO_REQUEST	0xF0	Info. Field Echo Request	NISS ← OBC
optECHO_REPLY	0xF8	Info. Field Echo Reply	NISS → OBC
optTIME_SET_REQUEST	0xF1	NISS Time Setting Request	NISS ← OBC
optTIME_SET_REPLY	0xF9	NISS Time Setting Reply	NISS → OBC
optTIME_GET_REQUEST	0xF2	NISS Time Request	NISS ← OBC
optTIME_GET_REPLY	0xFA	NISS Time Reply	NISS → OBC
optLIFESIGN_REQUEST	0xF3	NISS Lifesign Request	NISS ← OBC
optLIFESIGN_REPLY	0xFB	NISS Lifesign Reply	NISS → OBC

NISS에서 사용할 수 있는 Sub-Command는 다음과 같다.

-NISS Sub-Commnad List

Sub-Cmd Type (Sub-CT)	Value	Description
sptNISS_SOH_INFO	0x01	SOH Request & Reply
sptNISS_SET_SHUTTER	0x02	Shutter open/close
sptNISS_START_OBS	0x04	Start Observation & Data Readout
sptNISS_STOP_OBS	0x05	Stop Observation & Data Readout
sptNISS_SET_RUNNUMBER	0x08	Set Run number
sptNISS_SET_FEEDBACK	0x22	Set cooler temperature feedback sensor (P/R)
sptNISS_COMM_CHANNEL	0x31	NISS SERDES P/R Selection Request
sptNISS_SET_FRMRESET	0x32	NISS H1RG sensor Frame Reset Set Request
sptNISS_SET_FPGAMODE	0x33	NISS FPGA Mode Set Request

(1.6) NISS Command Definition

optECHO_REQUEST

필드	Command type	Len	Info
크기	1	1	0
내용	optECHO_REQUEST	Info length	(none)
값	0xF0	0	(none)

optPL_NISS_REQUEST

필드	Command type	Len	Info
크기	1	1	1
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	NISS Sub-command
값	0xB0	1+ sizeof(Sub-commands)	Sub-command arguments

optTIME_SET_REQUEST

필드	Command type	Len	Info
크기	1	1	4
내용	optNISS_TIME_SET_REQUEST	Info length	NISS setting time value
값	0xF9	4	NISS Setting time value

Info field의 내용

형식: 4 byte long unsigned integer

내용: 설정시각(UTC 기준)의UNIX time - 1451606400

1451606400은 2016. 1. 1. 00:00:00 UTC의 UNIX time으로서, 결과적으로 optNISS_TIME_SET_REQUEST 명령어의 전달인자는 2016.1.1. 00:00:00 UTC부터의 초이다.

optTIME_REQUEST

필드	Command type	Len	Info
크기	1	1	0
내용	optTIME_REQUEST	Info length	Request current NISS time
값	0xF2	0	(none)

Info field의 내용

형식: 4 byte long unsigned integer

내용: NISS 내부시각Counter값

NISS의내부시각Counter는 0.1초단위로 1씩 증가한다. 따라서 전달된 Counter값으로부터 시각을 계산하려면 아래와 같이 계산하면 된다.

Sub second값 = 전달값%10)/10.

현재시각(UNIX time) = (int)(전달값/10) + 1451606400

optLIFESIGN_REQUEST

필드	Command type	Len	Info
크기	1	1	4
내용	optLIFESIGN_REQUEST	Info length	LifeSign reply period
값	0xF3	4	LifeSign reply period

(1.7) NISS Sub-command Definition

sptNISS_SOH_INFO (0x01 <-> sptNISS_SOH_INFO)

Function:

NISS에 대한 SOH 정보요청 및 응답.

Format1: Request (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	2
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_SOH_IN FO	SOH Period
값	0xA0	3	0x01	SOH Period

Info 필드의 내용(주기값)

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

0: 즉시응답(1회)

그외값: 값에 해당하는시간(초) 주기로응답. 1일경우핵사값으로[00 01]임.

Format2: Sub-command Reply ACK (NISS -> OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	NN
내용	optPL_NISS_REPLY	Info Length	sptNISS_SOH_IN FO	NISS SOH info
값	0xA8	1+ 34	0x01	35

SOH info 필드의 내용(SOH Information)

Struct NISS_SOH_INFO

```
{
    FOURBYTE    CurrTime      : NISS Current time
    FOURBYTE    RunTime       : NISS Running time
    TWOBYTE     SOH_Period    : SOH Response Period (Sec)
    FOURBYTE    RunNumber     : NISS Run number
    TWOBYTE     Status        : NISS Status word
    TWOBYTE     IntTime       : NISS Integration Time (unit: 100 uSec)
    HK_INFO     HKInfo        : NISS Housekeeping Information (16 words)
}
```

Struct HK_INFO

```
{
    TWOBYTE    DSP_TEMP      : DSP board temperature
    TWOBYTE    H1RG_TEMP     : HAWAII-1RG Sensor temperature
    TWOBYTE    DEWAR         : Dewar exterior temperature
    TWOBYTE    COOLER BODY   : Cooler body temperature
    TWOBYTE    M2 MODULE     : M2 mirror module temperature
    TWOBYTE    M1 MODULE     : M1 mirror module temperature
    TWOBYTE    MAINBODY      : NISS Main body temperature
    TWOBYTE    RADIATOR      : Radiator temperature
    TWOBYTE    RESERVED       : Reserved
    TWOBYTE    RESERVED       : Reserved
    TWOBYTE    RESERVED       : Reserved
    TWOBYTE    RESERVED       : Reserved
    TWOBYTE    REFVOL1       : DSP reference voltage 1
    TWOBYTE    REFVOL2       : DSP reference voltage 2
    TWOBYTE    AGND          : DSP board AGND (supposed to be 0)
    TWOBYTE    AGND          : DSP board AGND (supposed to be 0)
}
```

NISS Status word 세부정보

Bit	Status	Description
15(MSb)	0:Normal, 1:Emergency	NISS Emergency flag
14	0	Reserved
13	0	Reserved
12	0	Reserved
11	0: Primary, 1: Redundancy	Cooler temperature feedback sensor
10	0:All sampling, 1:Folwer sampling	FPGA sampling mode
9	0:Test mode, 1:Data mode	FPGA operation mode
8	0:Lab mode, 1:Flight mode	FPGA data mode
7	0:LifeSign flag Off, 1:LifeSign flag On	NISS LifeSign periodic reply status
6	0:SOH_Info flag Off, 1:SOH_Info flag On	NISS SOH_Info periodic reply status
5	0:Off, 1:On	NISS Cooler status
4	0:Close, 1:Open	NISS shutter status
3	0:Standby, 1:Observation	NISS Observation mode
2	0	Reserved
1	0:SERDES P, 1:SERDES R	SERDES P/R channel information
0(LSB)	0:CAN A, 1:CAN B	CAN A/B channel information

sptNISS_SET_SHUTTER (0x02, <- -> sptNISS_SET_SHUTTER)

Function:

NISS의 셔터작동요청 및 응답.

FORMAT-1: Request (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	1
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_SET_SHUTTER	Shutter Open/Close
값	0xA0	2	0x02	0:Shutter close 1:Shutter open

NISS는 sptNISS_SET_SHUTTER 명령에 따라 닫혀있던 셔터를 열거나, 열려있던 셔터를 닫는다. 셔터의 현재 상태는 SOH Info의 셔터 정보에 기록됨.

Info 필드의 내용:

0: Shutter close

1: Shutter open.

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	1
내용	optPL_NISS_REPLY	Info Length	sptNISS_SET_SHUTTER	Shutter Open/Close
값	0xA8	2	0x02	0:Shutter close 1:Shutter open

Info 필드의 내용:

- 0: Shutter close
- 1: Shutter open.

sptNISS_START_OBS (0x04 <-> sptNISS_START_OBS)

Function:

NISS에게 관측시작(Start Observation)을 요청 및 응답.

FORMAT-1: REQUEST (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	TBD
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_START_OBS	NISS OBS Information
값	0xA0	TBD	0x04	TBD

Info 필드의 내용:

TBD

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	TBD
내용	optPL_NISS_REPLY	Info length	sptNISS_START_OBS	NISS OBS Information
값	0xA8	TBD	0x04	TBD

Info 필드의 내용:

TBD

sptNISS_STOP_OBS (0x05 <-> sptNISS_STOP_OBS)

Function:

NISS에게 관측종료(Stop Observation)을 요청 및 응답.

FORMAT-1: REQUEST (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_STOP_OBS	
값	0xA0	1	0x05	

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	1
내용	optPL_NISS_REPLY	Info length	sptNISS_STOP_OBS	Error code
값	0xA8	2	0x05	Error code

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

Info 필드의 내용:

0: No error

1: Error 발생에의한자체관측중단

sptNISS_SET_RUNNUMBER (0x08, <- -> sptNISS_SET_RUNNUMBER)

Function:

NISS에게 Run Number를 변경하도록 요청 및 응답.

FORMAT-1: Request (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	4
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_SET_R UNNBER	Run number
값	0xA0	5	0x08	Run number

Info 필드의 내용:

4 byte: Run number (0x00000000 ~ 0xFFFFFFFF, 매 관측마다 1씩 증가)

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	4
내용	optPL_NISS_REPLY	Info length	sptNISS_SET_R UNNBER	Run number
값	0xA8	5	0x08	Run number

Info 필드의 내용:

Request와 동일.

sptNISS_SET_FEEDBACK (0x22, <- -> sptNISS_SET_FEEDBACK)

Function:

NISS에게 Cooler feedback sensor를 설정하도록 요청 및 응답.

FORMAT-1: Request (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	4
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_SET_FEEDBACK	Feedback sensor
값	0xA0	2	0x22	0: Primary, 1: Redundancy

Info 필드의 내용:

0: Primary sensor

1: Redundancy sensor

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	4
내용	optPL_NISS_REPLY	Info length	sptNISS_SET_FEEEDBACK	Feedback sensor
값	0xA8	2	0x22	0: Primary, 1: Redundancy -2: Error

Info 필드의 내용:

Request와 동일함.

실행 오류 시 -2를 출력함.

sptNISS_COMM_CHANNEL (0x31, <- → sptNISS_COMM_CHANNEL)

Function:

NISS에게 Primary/Redundancy 데이터 전송 채널 선택 요청 및 응답

FORMAT-1: REQUEST (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	1
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_COMM_CHANNEL	SERDES P/R selection
값	0xA0	2	0x31	0x1:SERDES P, 0x2:SERDES R

Info 필드의 내용(SERDES P/R selection)

1: SERDES Primary 채널 선택

2: SERDES Redundancy 채널 선택

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	2
내용	optPL_NISS_REPLY	Info length	sptNISS_COMM_CHANNEL	통신 채널 P/R
값	0xA8	3	0x31	채널 정보

Info field의 내용:

1st byte: SERDES 채널 정보(0: Primary, 1:Redundancy)

2nd byte: CAN 채널 정보(0:CAN A, 1:CAN B)

주의: SERDES P/R 채널을 선택할 때에는 1 혹은 2를 전송해야하나, 이에 대한 회신은 0 혹은 1로 온다.

sptNISS_SET_FRMRESET (0x32, <- → sptNISS_SET_FRMRESET)

Function:

NISS HAWAII-1RG 센서 Reset 주기의 설정 요청 및 응답.

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

FORMAT-1: REQUEST (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	2
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_SET_FRMRESET	FRM reset period
값	0xA0	3	0x32	FRM reset period

Info 필드의 내용(Frame Reset period)

H1RG 센서의 Frame Reset 주기값. 해당하는 값만큼의 Frame readout 후 Reset을 한다.

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	2
내용	optPL_NISS_REPLY	Info length	sptNISS_SET_FRMRESET	FRM reset period
값	0xA8	3	0x32	FRM reset period

Info 필드의 내용:

Request와 동일.

sptNISS_SET_FPGAMODE (0x33 <- -> sptNISS_SET_FPGAMODE)

Function:

NISS DSP/IF 보드에 있는 FPGA의 동작 모드 설정.

FORMAT-1: REQUEST (OBC → NISS)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	1
내용	optPL_NISS_REQUEST	Info length	sptNISS_SET_FPGAMODE	FPGA setting mode bits
값	0xA0	2	0x33	FPGA setting mode bits

Info 필드의 내용(FPGA mode)

FPGA 동작을 제어하는 세가지 파라미터들을 LSb에서부터 3개의 비트로 제어한다. 8 bit 데이터 중 하위 3개 bit를 제외한 나머지 bit는 모두 0으로 고정된다. (00000XXX 형태로)

8thbit(LSb):FPGA data mode 0: Lab mode, 1: Flight mode

7thbit:FPGA operation mode: 0: Test mode, 1: Data mode

6thbit:FPGA sampling mode: 0: Multiple (all) sample, 1: Fowler sample

FORMAT-2: Sub-command Reply ACK (NISS → OBC)

필드	Command type	Len	Info	
크기	1	1	1	1
내용	optPL_NISS_REPLY	Info length	sptNISS_SET_FPGAMODE	FPGA setting mode bits

Info 필드의 내용:

Request와 동일.

(1.8) NISS Harness Definition

표. NISS Harness List

Harness Name	Camera / SC		E-Box		
	Port Name	Connector	Port Name	Connector	
NISS_HF1	HF12_FPB	DB44M	HF1_AMP	DB25F	
NISS_HF2			HF2_AMP	DB15F	
NISS_HF3	HF3_TEMP	DB25F	HF3_DSP	DB25M	
NISS_HF4	HF4_COOLER	DB9F	HF4_PWR	DB9F	
NISS_IH			IH_AMP	DB25M	
			IH_DSP	DB37M	
			IH_PWR	DB9F	
NISS_HS1	HS1_CAN		HS1_DSP	DB9F	
NISS_HS2	HS2_CBP		HS2_DSP	DB25M	
NISS_HS3	HS3_CBP		HS3_PWR	DB9F	
NISS_HS4	HS4_EBP		HS4_PWR	DB9M	

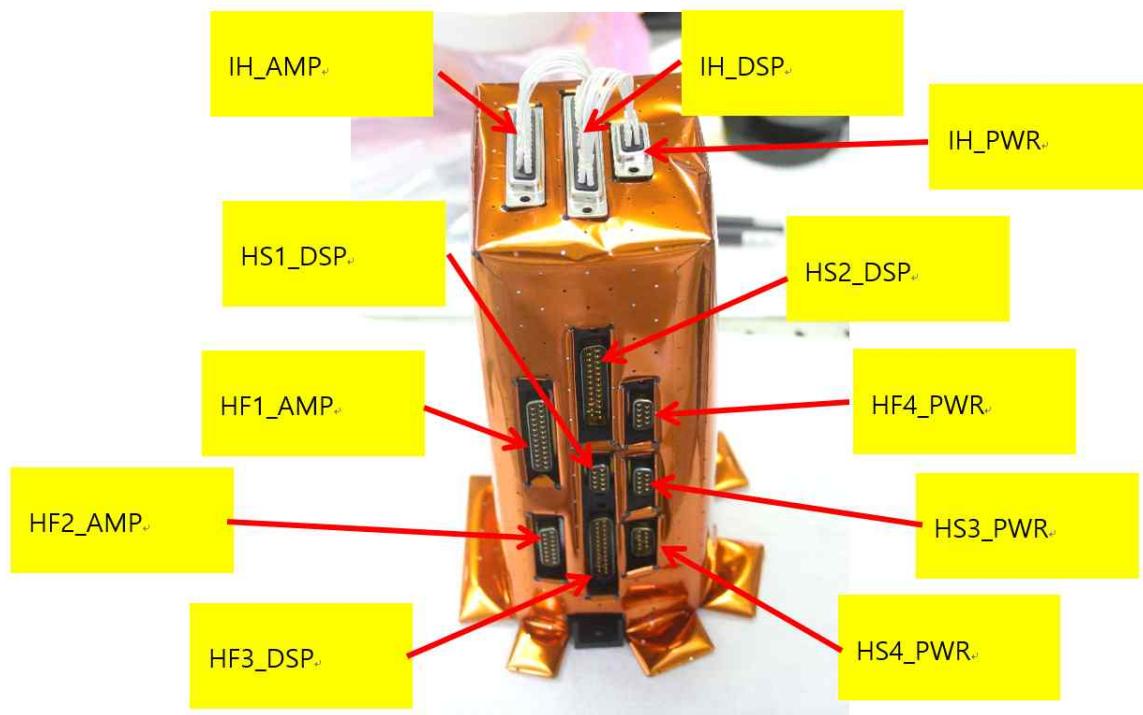


그림 107. NISS E-Box의 Harness Port

(1.8.1) NISS E-Box ↔FPB Harness

-NISS_HF1 & NISS_HF2

- NISS_HF1 : FPB Clock & Powers to AMP
- NISS_HF2 : FPB Analogs to AMP

DB44F to (DB25M & DB15M)

to DB25M: 50cm

Signal		Wire Spec.			FPB Side DB44F		E-Box Side DB25M		Note
Name	Type	Type	WN	WG	Port	Pin	Port	Pin	
DGNDH	DGND			24	HF12_FPB	1	HF1_AMP	1	
DATAIN	D	-	-	24	HF12_FPB	2	HF1_AMP	2	
DATAOUT	D	-	-	24	HF12_FPB	3	HF1_AMP	3	
DATACLK	D	-	-	24	HF12_FPB	4	HF1_AMP	4	
CSB	D			24	HF12_FPB	5	HF1_AMP	5	
READEN	D	-	-	24	HF12_FPB	6	HF1_AMP	6	
RESETN	D	-	-	24	HF12_FPB	7	HF1_AMP	7	
HCLK	D	-	-	24	HF12_FPB	8	HF1_AMP	8	
LSYNCB	D			24	HF12_FPB	9	HF1_AMP	9	
VERTWMEN	D	-	-	24	HF12_FPB	10	HF1_AMP	10	
VCLK	D	-	-	24	HF12_FPB	11	HF1_AMP	11	
FSYNCB	D	-	-	24	HF12_FPB	12	HF1_AMP	12	
MAINRESET_B	D			24	HF12_FPB	13	HF1_AMP	13	
VBIASGATE	A	-	-	24	HF12_FPB	17	HF1_AMP	15	
VRESET	A	-	-	24	HF12_FPB	18	HF1_AMP	16	Twist Pair
Twist Pair Shield	GND					40		23	
DSUB	A	-	-	24	HF12_FPB	19	HF1_AMP	17	
P3V3AH	3.3VA	-	-	24	HF12_FPB	21	HF1_AMP	18	Twist Pair
Twist Pair Shield	GND					41		24	
P3V3DH	3.3VD			24	HF12_FPB	23	HF1_AMP	19	Twist Pair
AGND	AGND			24	HF12_FPB	24	HF1_AMP	20	
T1_1	A			24	HF12_FPB	25	HF1_AMP	21	Twist Pair
T2_1	A			24	HF12_FPB	26	HF1_AMP	22	

to DB15M: 45cm

Signal		Wire Spec.			FPB Side DB44F		E-Box Side DB15M		Note
Name	Type	Type	WN	WG	Port	Pin	Port	Pin	
A-IN1(+)	A	DT	1-1	24	HF12_FPB	30	HF2_AMP	1	Twist Pair
A-IN1(-)	A	DT	1-2	24	HF12_FPB	31	HF2_AMP	9	
Twist Pair Shield	GND					29		6	
A-IN2(+)	A	DT	2-1	24	HF12_FPB	32	HF2_AMP	2	
A-IN2(-)	A	DT	2-2	24	HF12_FPB	33	HF2_AMP	10	Twist Pair
Twist Pair Shield	GND					42		13	
REFOUT(+)	A	DT	3-1	24	HF12_FPB	34	HF2_AMP	3	
REFOUT(-)	A	DT	3-2	24	HF12_FPB	35	HF2_AMP	11	Twist Pair
Twist Pair Shield	GND					43		6	
PA_OFF_IN(+)	A	DT	4-1	24	HF12_FPB	36	HF2_AMP	4	Twist Pair

PA_OFF_IN(-)	A	DT	4-2	24	HF12_FPB	37	HF2_AMP	12	
Twist Pair Shield	GND					44		14	
REF2V5A	+2.5V	DT	5-1	24	HF12_FPB	38	HF2_AMP	7	Twist Pair
AGND	GND	DT	5-2	24	HF12_FPB	39	HF2_AMP	15	
SHIELD	GND								Shield

-NISS_HF3

- NISS_HF3 : Camera Temperatures and Shutter to DSP

DB25M to DB25F: 37cm

Signal		Wire Spec.			Camera Side DB15M		E-Box Side DB15F		Note
Name	Type	Type	WN	WG	Port	Pin	Port	Pin	
TEMP_3	A			22	HF3_TEMP	3	HF3_DSP	3	
TEMP_4	A			22	HF3_TEMP	4	HF3_DSP	4	
TEMP_5	A			22	HF3_TEMP	5	HF3_DSP	5	
TEMP_6	A			22	HF3_TEMP	6	HF3_DSP	6	
TEMP_7	A			22	HF3_TEMP	7	HF3_DSP	7	
TEMP_8	A			22	HF3_TEMP	8	HF3_DSP	8	
SC_Temp_1	A			22	HF3_TEMP	9	HF3_DSP	9	
SC_Temp_2	A			22	HF3_TEMP	10	HF3_DSP	10	
SC_Feedback	A			22			HF3_DSP	11	HF4_Cooler 4
SC_Feedback_RTN	AGND			22			HF3_DSP	12	HF4_Cooler 5
TEMP_RTN	AGND			22	HF3_TEMP	13	HF3_DSP	13	
Photo_Diode_AN	A			22	HF3_TEMP	14	HF3_DSP	14	
Photo_Diode_CA	A			22	HF3_TEMP	15	HF3_DSP	15	
Photo_Sensor_EM	A			22	HF3_TEMP	16	HF3_DSP	16	
Photo_Sensor_CO	A			22	HF3_TEMP	17	HF3_DSP	17	
Shutter_Sol_1+	A			22	HF3_TEMP	18	HF3_DSP	18	
Shutter_Sol_1-	A			22	HF3_TEMP	19	HF3_DSP	19	

-NISS_HF4

- NISS_HF4 : Cooler to PWR

DB9M to DB9M: 67cm

Signal		Wire Spec.			Camera Side DB9M		E-Box Side DB9M		Note
Name	Type	Type	WN	WG	Port	Pin	Port	Pin	
Cooler+28V	+28V			24	HF4_Cooler	1	HF4_PWR	1	
Cooler+28V_RTN	PGND			24	HF4_Cooler	2	HF4_PWR	2	
SC_Feedback	A			24	HF4_Cooler	4			HF3_TEMP 11
SC_Feedback_RTN	A			24	HF4_Cooler	5			HF3_TEMP 12

(1.8.2) NISS E-Box ↔ Spacecraft(Bus) Harness

-NISS_HS1

- NISS_HS1 : CAN bus to DSP

Signal		Wire Spec.			CAN Side		E-Box Side DB9M		Note
Name	Type	Type	WG	WI	Port	Pin	Port	Pin	
CANL_P	LVDS	DT	28				HS1_DSP	2	
GND	GND	Shield	28				HS1_DSP	3	
CANL_R	LVDS	DT	28				HS1_DSP	4	
GND	GND	Shield	28				HS1_DSP	5	
CANH_P	LVDS	DT	28				HS1_DSP	7	
CANH_R	LVDS	DT	28				HS1_DSP	9	

-NISS_HS2

- NISS_HS2 : CBP to DSP

Signal		Wire Spec.			CBP Side		E-Box Side DB25F		Note
Name	Type	Type	WG	WI	Port	Pin	Port	Pin	
P_Y0_P	LVDS	DT	28		CBP 303	16	HS2_DSP	1	
P_Y0_N	LVDS	DT	28		CBP 303	17	HS2_DSP	2	
P_Y1_P	LVDS	DT	28		CBP 303	49	HS2_DSP	3	
P_Y1_N	LVDS	DT	28		CBP 303	50	HS2_DSP	4	
P_Y2_P	LVDS	DT	28		CBP 303	32	HS2_DSP	5	
P_Y2_N	LVDS	DT	28		CBP 303	33	HS2_DSP	6	
P_CL_P	LVDS	DT	28		CBP 303	47	HS2_DSP	7	
P_CL_N	LVDS	DT	28		CBP 303	48	HS2_DSP	8	
R_Y0_P	LVDS	DT	28		CBP 303	26	HS2_DSP	9	
R_Y0_N	LVDS	DT	28		CBP 303	27	HS2_DSP	10	
R_Y1_P	LVDS	DT	28		CBP 303	43	HS2_DSP	11	
R_Y1_N	LVDS	DT	28		CBP 303	44	HS2_DSP	12	
R_Y2_P	LVDS	DT	28		CBP 303	28	HS2_DSP	13	
R_Y2_N	LVDS	DT	28		CBP 303	29	HS2_DSP	14	
R_CL_P	LVDS	DT	28		CBP 303	10	HS2_DSP	15	
R_CL_N	LVDS	DT	28		CBP 303	11	HS2_DSP	16	

-NISS_HS3

- NISS_HS3 : CIOM to PWR

Signal		Wire Spec.			CIOM Side		E-Box Side DB9M		Note
Name	Type	Type	WG	WI	Port	Pin	Port	Pin	
P_COOLER_CATHODE			28		CBP 303	30	HS3_PWR	1	
P_COOLER_ANODE			28		CBP 303	31	HS3_PWR	2	
R_COOLER_CATHODE			28		CBP 303	12	HS3_PWR	3	
R_COOLER_ANODE			28		CBP 303	13	HS3_PWR	4	
PR_SEL_P_CATHODE			28		CBP 303	14	HS3_PWR	5	

PR_SEL_P_ANODE		28		CBP 303	15	HS3_PWR	6	
PR_SEL_R_CATHODE		28		CBP 303	45	HS3_PWR	7	
PR_SEL_R_ANODE		28		CBP 303	46	HS3_PWR	8	

-NISS_HS4

- #### ■ NISS_HS4 : PDM to PWR

Signal		Wire Spec.			PDU Side		E-Box Side DB9F		Note
Name	Type	Type	WG	WI	Port	Pin	Port	Pin	
P_+28V	+28V		28		EBP	6	HS4_PWR	1	
R_+28V	+28V		28		EBP	3	HS4_PWR	3	
PGND	PGND		28		EBP	16	HS4_PWR	8	
PGND	PGND		28		EBP	19	HS4_PWR	9	

(1.8.3) NISS E-Box Internal Harness

-NISS_IH1 (Amp to DSP/IF)

- NISS_IH : DSP to (AMP & PWR)



DB37F to (DB25F & DB9M) : 8cm

Signal		Wire Spec.			DSP Side DB37F		PWR Side DB9M		Note
Name	Type	Type	WG	WI	Port	Pin	Port	Pin	
P+5VD	5VD		24		IH_DSP	19	IH_PWR	1	
P+12VD	12VD		24		IH_AMP	22	IH_PWR	2	
AGND	AGND		24		IH_AMP	20	IH_PWR	3	
P+5VD	5VD		24		IH_DSP	16	IH_PWR	4	
DGND	DGND		24		IH_DSP	15	IH_PWR	5	
PR_SEL_P_CA	D		24		IH_DSP	37	IH_PWR	6	
PR_SEL_P_AN	5VD		24		IH_DSP	36	IH_PWR	7	
PR_SEL_R_CA	D		24		IH_DSP	35	IH_PWR	8	
PR_SEL_R_AN	5VD		24		IH_DSP	34	IH_PWR	9	

(1.9) NISS Power Budget

새롭게 설정된 NISS Power Budget은 다음과 같다.

- 초기운영모드: HK monitoring 만 수행
- 대기모드: Cooler 만 동작
- 관측모드: Cooler off 및 관측
- 예비모드: Cooler 및 DSP 모두 동작 (필요시)

표 . Power Budget Table

Sub system	Operation Mode [unit: W]		
	초기운용모드	대기모드	관측모드
Input total with Reserve	7.8	11.6	11.6
Input total	7.8	11.6	11.6
Output Total	6.0	9.0	9.0
DSP/IF	4.0	0.0	4.0
Power/CTRL	2.0	0.0	2.0
AMP	0.0	0.0	4.0
Cooler	0.0	9.0	0.0
Converter Loss [25%]	1.5	2.5	2.5
Diode Loss	0.1	0.1	0.1
Reserve	0.0	0.0	0.0

(1.10) NISS 영상 센서 냉각 시험

개발된 전자부 보드들 및 GSE 시스템을 이용해서 NISS에 사용될 적외선 센서의 동작을 시험하였다. 이를 위하여 우주천문그룹이 운영하는 소형 및 대형 냉각챔버 안에 NISS를 설치해서 냉각한 후, 전자부를 동작시켜서 영상 센서로부터 데이터를 얻어냈다. 그럼 108은 센서 동작 실험을 위해 꾸며진 소형 냉각 챔버의 모습을 보여주고 있다.

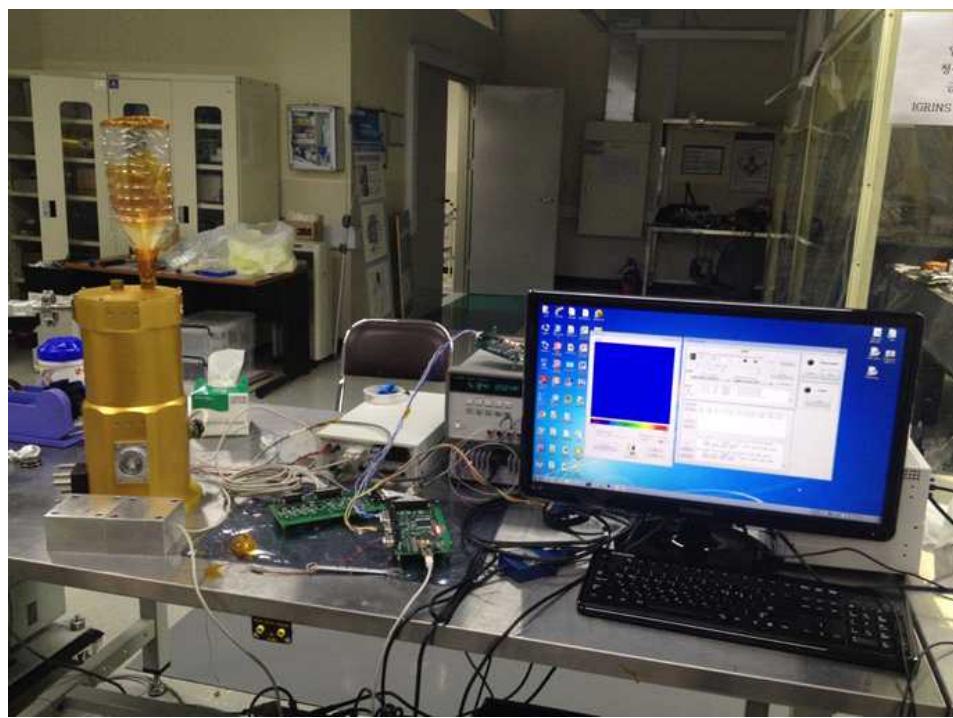


그림 108. H1RG 적외선 센서의 동작 시험을 위한 실험실 셋업 모습.
화면 왼쪽의 소형 냉각챔버 안에 H1RG 칩을 설치하고 화면 오른편의
제어 PC에서 Amp 보드를 제어해서 H1RG를 동작한다.

이들 시설을 이용하여, 2016년에 수 차례의 냉각 실험을 시행하였다. 아래 표는 적외선 영상
센서 H1RG 및 H2RG의 특성 조사를 위해 실시한 냉각 시험 로그이다.

실험 일자	이미지 센서		테스트 챔버		설치 광학계					전자부				실험 목적/주요 사항
	EQ M	FM	H2RG	대형	소형	LVF	셔터	Blank plate	기타	FPB	DSP	PWR	Amp	
2016-02-05	✓			✓										EQM 1차 Focus test
2016-02-25	✓			✓										EQM 2차 Focus test
2016-03-05	✓			✓										EQM 3차 Focus test/NISS 전체조립/EQM Heat-path 사용
2016-03-16	✓			✓		✓	✓			old		N/A		Dark test/ GM 쿨러에 바로 붙여서 시험/Dewar와 NISS 쿨러만 부분 시험
2016-03-17	✓			✓		✓	✓			old	V3.0	N/A	EQM	Bias voltage 조절/ GM 쿨러에 바로 붙여서 시험/88.3K 다크 조사/Detector 자체 온도센서 line NC
2016-03-23		✓		✓				✓						FM 센서 최초 테스트/LVF 모듈 분리 및 Dark plate 설치

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

2016-03-25	✓			✓			✓			V3.0			EQM 센서로 교체하고 FM과 동일한 조건으로 테스트	
2016-03-29	✓			✓	✓	✓							NISS Dewar를 GM 쿨러에 바로 장착 후 실험	
2016-04-01	✓				✓			✓					소형 챔버를 이용한 실험 시작	
2016-04-06	✓				✓			✓					Dewar 안쪽 센서 및 온도센서 제거(온도 센서선 인입으로 인한 열/빛 차단), FPB 보드 냉각에 신경을 더 씀/dewar 82, FPB 190~200K 운용조건 데이터 얻음.	
2016-04-14		✓			✓			✓					FM 센서의 dark noise 측정/냉각 가동 조건은 4.6과 같음.	
2016-04-27	✓			✓	✓	✓			old	V3.0	N/A	FM	EQM 4차 Focus test/Amp FM 최초 투입	
2016-04-30		✓			✓			✓	old	V3.0	N/A	FM	4.29. EQM 시험과 비교해서 4.29. Data가 포화된 것을 확인함/Amp FM Verification	
2016-05-10		✓			✓			✓	구멍 뚫음	old	V3.0	N/A	FM	NISS Chip orientation 확인 테스트 및 노출시간/온도에 따른 ADU값 체크
2016-05-12		✓			✓	✓			old	V3.0	N/A	FM	LVF를 장착하여 온도에 따른 영상 변화 추이 판단.	
2016-05-18		✓			✓	✓			old	V3.0	N/A	FM	Shroud 결합 부분에 알루미늄 테이프 붙여서 외부 빛 누설 차단 보강 작업 후 확인	
2016-05-20		✓			✓	✓		Common Window	old	V3.0	N/A	FM	Common window까지 80K로 냉각하는 실험	
2016-05-25	✓			✓	✓	✓			old	V3.0	N/A	FM	대형 챔버에서 NISS EQM focus test 시도/ Common window까지 냉각	
2016-05-31		✓			✓	✓		Common Window	old	v3.0	N/A	FM	LVF EQM(2nd version) 및 셔터없이 이미지 조사	
2016-06-07		✓			✓	✓		Common window + MIRIS Window	old	V3.0	N/A	FM	MIRIS 원도 붙여서 빛 누설 점검	
2016-06-13		✓			✓	✓		Common Window	old	V3.0	N/A	FM	LVF FM을 붙여서 데이터 얻음.	

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

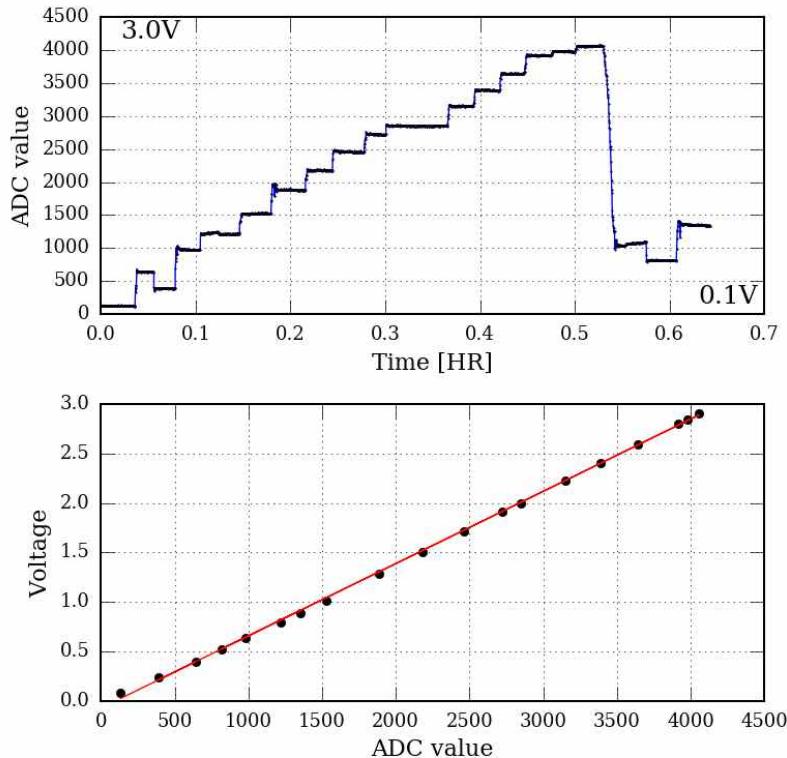
2016-06-17		✓			✓	✓		Common Window	old	v3.0	N/A	FM	Dewar 및 Common window의 실제 냉각 온도 점검
2016-06-22			✓		✓	✓		Common Window	old	v3.0	N/A	FM	2.2um cut-off H2RG 센서를 장착하여 80K에서의 영상 및 LVF 확인 시도
2016-06-29			✓	✓		✓		Common Window	new	v3.0	N/A	FM	NISS EQM 5차 Focus test/H2RG End 센서 사용/H2RG output channel에 따라 wiring 바꾼 FPB 보드 사용
2016-07-13		✓			✓		✓		new	v3.0	N/A	FM	
2016-08-05			✓		✓		✓		new	v5.0	v3.0	FM	PWR V3.0의 성능 평가(노이즈 측정) 및 H2RG 온도센서 보정
2016-09-08			✓	✓		✓		Common Window	new	v5.0 (FM final)		FM	PWR V5.0 및 noise 대비용 FPB cable 등을 이용해서 노이즈 측정 및 H2RG 온도센서 보정 (Window가 달려있긴 하지만, 그 밖의 구조체에서 차단하므로, 소형 챔버 Dark와 비슷한 환경 조성됨)
2016-09-27				✓					N/A	FM	N/A	N/A	온도 센서 calibration을 위한 테스트. (DSP 칩에 따라서, 또 DSP의 ADC 프로그래밍에 따라 출력 결과가 달라질 수도 있음. 이 실험에 사용한 DSP/I/F는 Rev5.0으로 우주급 FPGA 칩 사용한 FM)
2016-09-30			✓		✓	✓		Common Window	FM	FM		FM	H2RG 센서 linearity range, full well depth 파악용 실험
2016-10-13			✓	✓		✓		Common Window	FM	FM		FM	NISS FM Focusing test. PWR을 제외한 전자부는 FM. 단, DSP 펌웨어가 바뀌어서, ADC를 통해 나오는 HK값에 그전 calibration 결과 적용이 가능하지는 아직 확인되지 않음.
2016-10-20			✓		✓	✓		Common Window	FM	FM		FM	NISS H2RG 센서의 중앙부분

											Dark data를 얻기 위한 냉각 실험. Blank plate를 붙여야하나, FM 조립 완료시점이므로, 그 대신 Dewar 전체를 MLI로 잘 포장함. 또한 그전 실험에서 나타나던 radiation이 온도 센서에 의한 것으로 추정되어, dewar에 붙었던 온도 센서를 떼고, H2RG 온도 정보에만 의존하도록 설정 바꿈.
2016-10-24		√	√	√	Common Window	FM	FM	FM	H2RG 온도 센서 calibration용 냉각. Dewar에 붙였던 온도 센서를 다시 붙이고, 10-20과 같은 configuration으 로 냉각함.		
2016-10-26		√	√	√	Common Window	FM	FM	FM	H2RG 중앙부분 Dark test. 10.24.과 같은 셋업이나, Dewar에 붙였던 온도 센서의 연결선을 끊어서 선을 cold plate에 붙여서, 연결선에 의한 열전도 차단 하고 실험.		
2016-10-30		√	√	√		FM	FM	FM	2차 Focus test. 10.13.과 비슷한 셋업이나, dewar에 온도 센서를 제거해서 완전한 dark를 얻을 수 있도록 시도함.		

위 표에 기록된 냉각 실험들 중 몇 가지 중요한 실험 결과에 대해서, 아래에 간략히 서술한다.

- 영상 검출기에 내장된 온도 센서 검정

NISS는 DSP 내부의 ADC 모듈을 이용해서, NISS 시스템의 온도 정보 및 그 외 Housekeeping 정보를 수집한다. NISS DSP의 ADC는 채널당 12 비트 샘플링을 지원하며, 설정에 따라 총 16 개 채널을 동시에 샘플링할 수 있다. 각 채널별 ADC가 측정 전압 범위는 0V~3V까지이다. NISS DSP의 ADC 특성을 파악하기 위해서, ADC 입력단에 0.1V부터 2.9V까지 여러 전압값을 입력하면 ADC 변환 결과를 측정하였다. 이로부터 얻어진 입력 전압과 ADC 출력값의 비례 관계를 그리면 아래와 같이 나온다.



위 그림에서 보듯이, ADC의 전 입력 전압 범위에서 좋은 선형성을 보여준다. 따라서 ADC의 출력값에서 비교적 쉽고 정확하게 입력 전압을 추정할 수 있다.

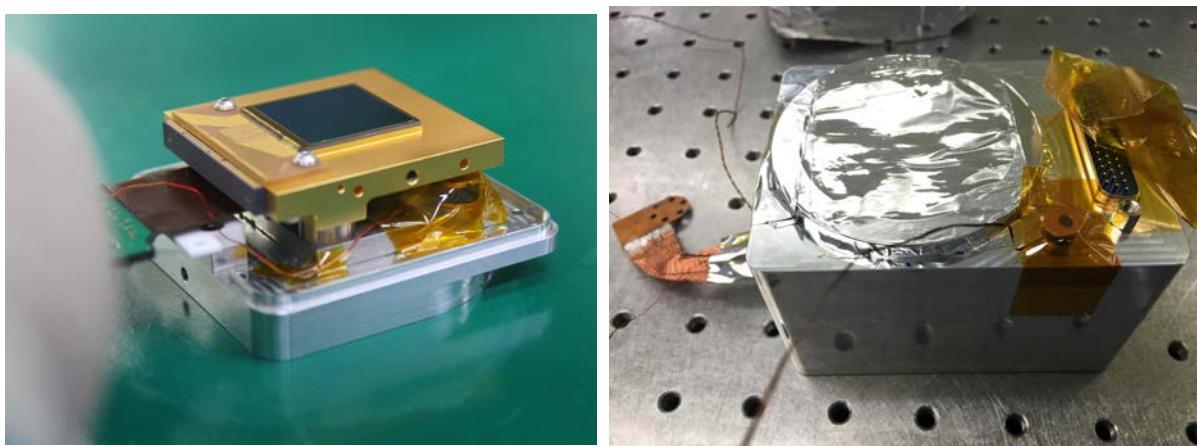
$$Voltage = 7.279536 \times 10^{-4} \times ADCvalue - 6.702935 \times 10^{-2}$$

또 다른 방법은, DSP/IF 보드에서 자체 생성하는 1.9V, 1.34V 전압원을 ADC에서 항상 샘플링하고 있는데, ADC의 선형성을 가정하면 이들 입력 전압 값과 ADC 출력 값을 이용하여 다른 ADC 출력값들로부터 입력 전압값을 추정할 수 있다.

$$Voltage - RefVol2 = \frac{(RefVol1 - RefVol2)}{(RefADC1 - RefADC2)} \times (RefAdc - RefADC2)$$

위 식에서 $RefVol1=1.9$, $RefVol2=1.34$, $RefADC1$ 은 $RefVol1$ 의 ADC 샘플링값, $RefADC2$ 는 $RefVol2$ 의 ADC 샘플링값이다.

H1RG 센서(#17846)의 온도 센서를 검정하기 위해서, H1RG 센서 die 바로 아래의 몰리브덴 판과 냉각 dewar 표면에 DT670 온도 센서를 부착하고 (그림 109 참조), 소형 테스트 냉각챔버에 넣고 냉각시켰다. 냉각 과정 중에서 H1RG의 온도 센서에서 나오는 출력 전압을 ADC로 기록하고, 동시에 두 DT670 온도센서의 값을 기록하였다. 액체질소로 냉각해서 저온에서 안정화됐을 때에 몰리브덴 판의 온도는 78.6K였다. 실온 및 저온에서의 H1RG 센서 온도는 몰리브덴 판의 온도와 같다고 가정하고, H1RG 온도 센서의 출력 전압값을 온도로 변환하는 식을 구하였다.



(a) 센서 온도 측정용 DT670 부착 위치 (b) Dewar 온도 측정용 DT670 부착 위치

그림 109. DT670 온도 센서 부착

$$\text{Temperature (H1RG)} = 142.857 \times \text{Voltage} + 1.04042$$

냉각 실험 동안 변한 H1RG 센서의 온도 및 DT670 센서의 온도 변화를 아래 그림에 표시하였다. H1RG 센서의 온도는 위 식을 이용하여 구하였다.

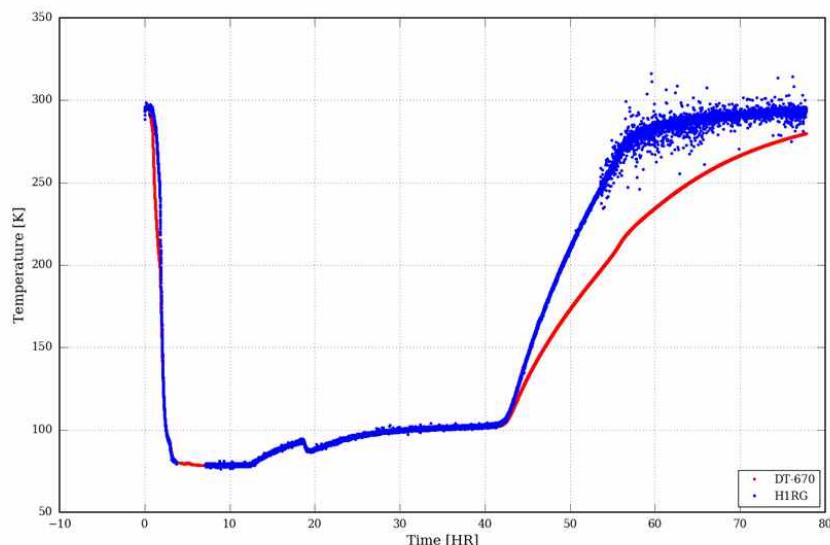


그림 110. H1RG 센서의 온도 변화(파란색) 및 H1RG 센서 die 밑부분의
몰리브덴 판에 부착된 DT670의 온도 변화(빨간색)

NISS의 영상 센서를 H1RG에서 H2RG로 바꾸기로 결정한 후에, H2RG에 대해서도 같은 실험을 반복해서, H2RG에 내장된 온도 센서의 출력 전압값을 온도로 변환하는 관계식을 구하였다.

$$\text{Temperature (H2RG)} = 250.4160 \times \text{Voltage} - 353.3757$$

온도 변환 관계는 앞으로 계속될 냉각 시험을 통해 더 많은 측정 데이터를 확보해서 계속 보정해나갈 예정이다.

- H1RG EQM 센서 (#17846)과 FM 센서(#17855)의 비교

NISS의 검출기로 사용하기 위하여 구입한 H1RG 센서 둘(#17846과 #17855)의 특성을 각각 4월 6일과 14일에 조사하였다. 두 센서를 80 K까지 냉각한 후 multiple sampling으로 영상들을 얻었고 이 영상들을 차분하였다. 차분된 영상은 각 픽셀에 5.3초 동안 쌓이는 암전류에 해당한다. 그렇게 차분된 영상들을 40여 장 얻어 이들의 픽셀 별 평균과 표준편차를 계산하였다. 이는 각각 암전류와 잡음에 해당한다. 두 센서에서 얻은 암전류와 잡음은 그림 111에 나타내었다. 둘 사이에 환경의 차이가 있어 직접 비교하기는 어렵지만 센서 #17846가 더 특성이 좋은 것으로 보인다. 센서의 암전류는 픽셀별로 차이가 크기는 하지만 그 중간값은 센서 #17846의 경우 1초 동안 1 ADU 미만이었다.

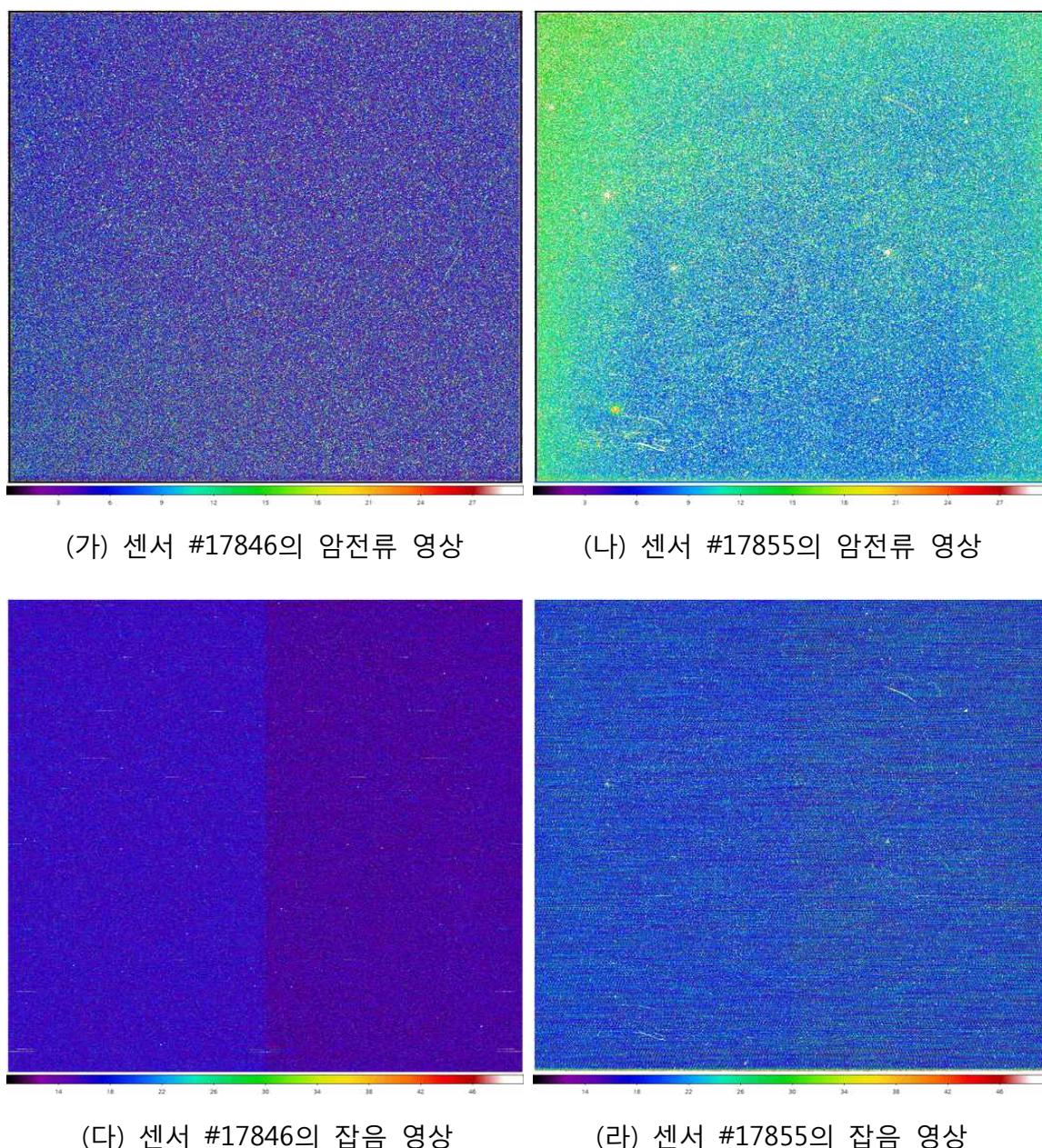
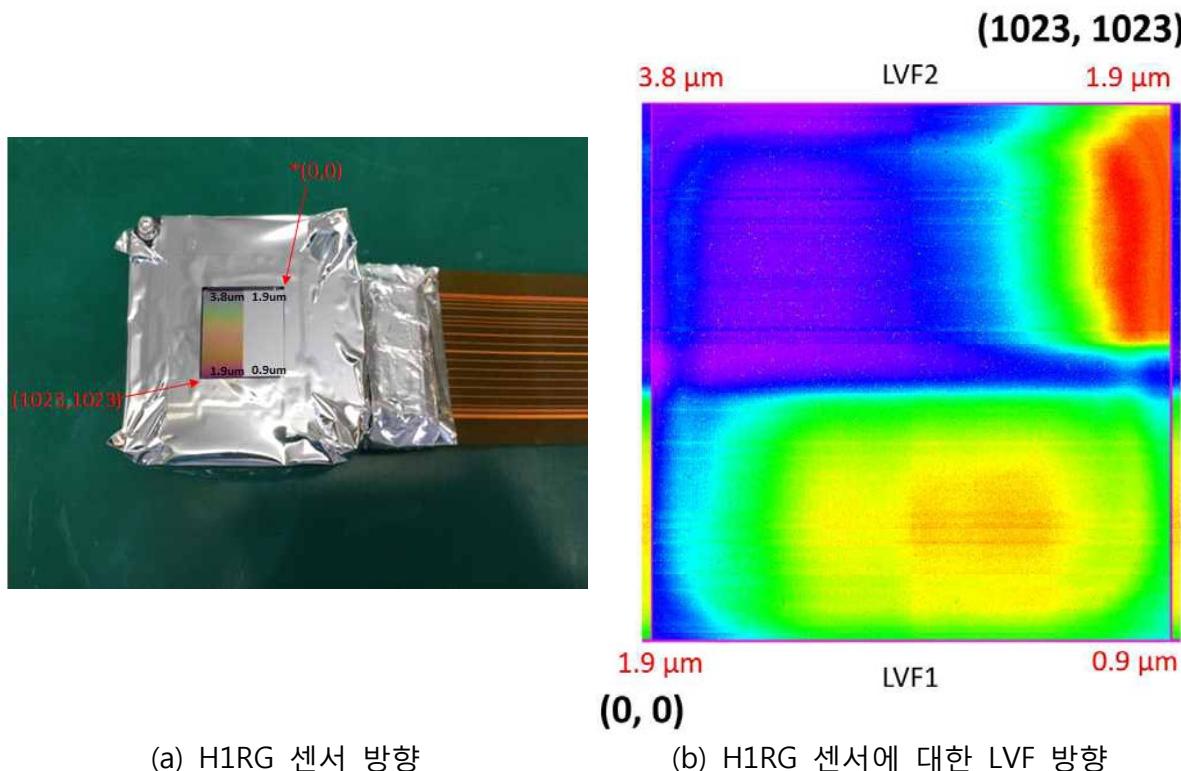


그림 111. NISS의 검출기 센서 H1RG 둘 사이의 암전류 및 잡음 영상 비교.

- H1RG EQM 센서 (#17846) 및 LVF 방향 확인

NISS 본체에 H1RG 센서를 장착하고, NISS 전자부로 데이터를 읽어낼 때, 어느 부분의 데이터가 먼저 읽혀서 우리가 보는 영상으로 만들어지는지 정확히 알 필요가 있다. 이를 위해 2016년 5월 10일 냉각 시험에서는 H1RG dewar 사각 귀퉁이 끝부분에 바늘구멍을 뚫은 판을 부착하여, 바늘 구멍을 통한 빛이 영상 어느 부분에 나오는지를 확인하였다.

이 실험으로 센서의 방향을 정확히 확인한 후, 2016년 5월 18일의 추가 냉각 시험에서는 EQM LVF를 장착해서, 135K의 챔버 내벽이 방출하는 흑체 복사를 촬영하였다. 135K의 흑체 복사는 H1RG의 감지 영역 중 $0.9 \mu\text{m}$ 대역이 제일 약하고 $5.3 \mu\text{m}$ 이 가장 강한 복사를 낸다. 이를 이용하여, 장기간 노출했을 때 어느 쪽이 가장 먼저 밝아지는가를 판단하여 LVF의 방향을 확인하였다. 이 실험을 통해 확인한 센서 및 LVF의 방향을 아래 그림에 표시하였다.



- H1RG $5.3 \mu\text{m}$ cut-off 센서의 열잡음 평가

2016년 5월 20일부터 2016년 6월 13일까지 4차례에 걸쳐 소형 챔버를 이용하여 냉각 실험을 실시하였다. 이 실험들의 목적은 NISS의 동작 설정 온도에서 과학 임무가 수행하기에 충분 할 정도로 낮은 암잡음을 생성하도록, 모든 냉각 및 작동 조건을 확인하는 것이었다. 이를 위하여, 액체질소로 78K까지 센서를 냉각하면서, 센서 앞쪽에 LVF 및 Common cut window를 장착하고, 역시 액체질소로 냉각된 챔버 내벽의 흑체 복사를 영상으로 얻었다. 이 실험 동안 LVF를 비롯한 광학계 및 FPB 보드 등에 온도 센서를 부착해서 온도를 계속 모니터링함으로써, 예상치 않은 곳으로부터 나오는 흑체 복사를 차단하도록 노력하였다. 아래 그림에 이 실험 과정에서 얻은 열잡음 영상의 일부 예를 보였다.

이러한 일련의 실험을 통해, EQM LVF가 애초 시방대로 제작되지 않아서 장파장에서 빛의 누설이 있음을 확인하고, OCJ에 LVF의 재제작을 요구할 수 있었다. 또한, 애초에 우주 공간에서 암잡음 영상을 얻기 위해 설치하기로 계획했던 셔터가 충분히 냉각될 수 없음을 확인했다. 이럴 경우 셔터가 오히려 열잡음 원인이 될 수 있으므로, 계획을 변경하여 최종 FM에서는 셔터를 제거하기로 하였다.

그러나, 이렇게 문제점들을 하나씩 찾아 제거하였음에도 불구하고, 과학 임무를 수행하기에 충분히 어두운 암잡음 영상을 얻을 수 없었다. 일련의 실험 끝에 애초에 계획했던대로 $5.3\text{ }\mu\text{m}$ cut-off H1RG 센서를 사용하고 NISS 구조체가 약 200K를 유지할 경우, 구조체로부터 들어오는 열잡음에 의해 노출 시작 3~4분 후에는 전체 영상이 포화된다는 결론을 얻었다. 이러한 열잡음을 막기 위해서, 결국 $5.3\text{ }\mu\text{m}$ cut-off 이미지 센서 대신 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ cut-off 센서를 사용하기로 결정하였다.

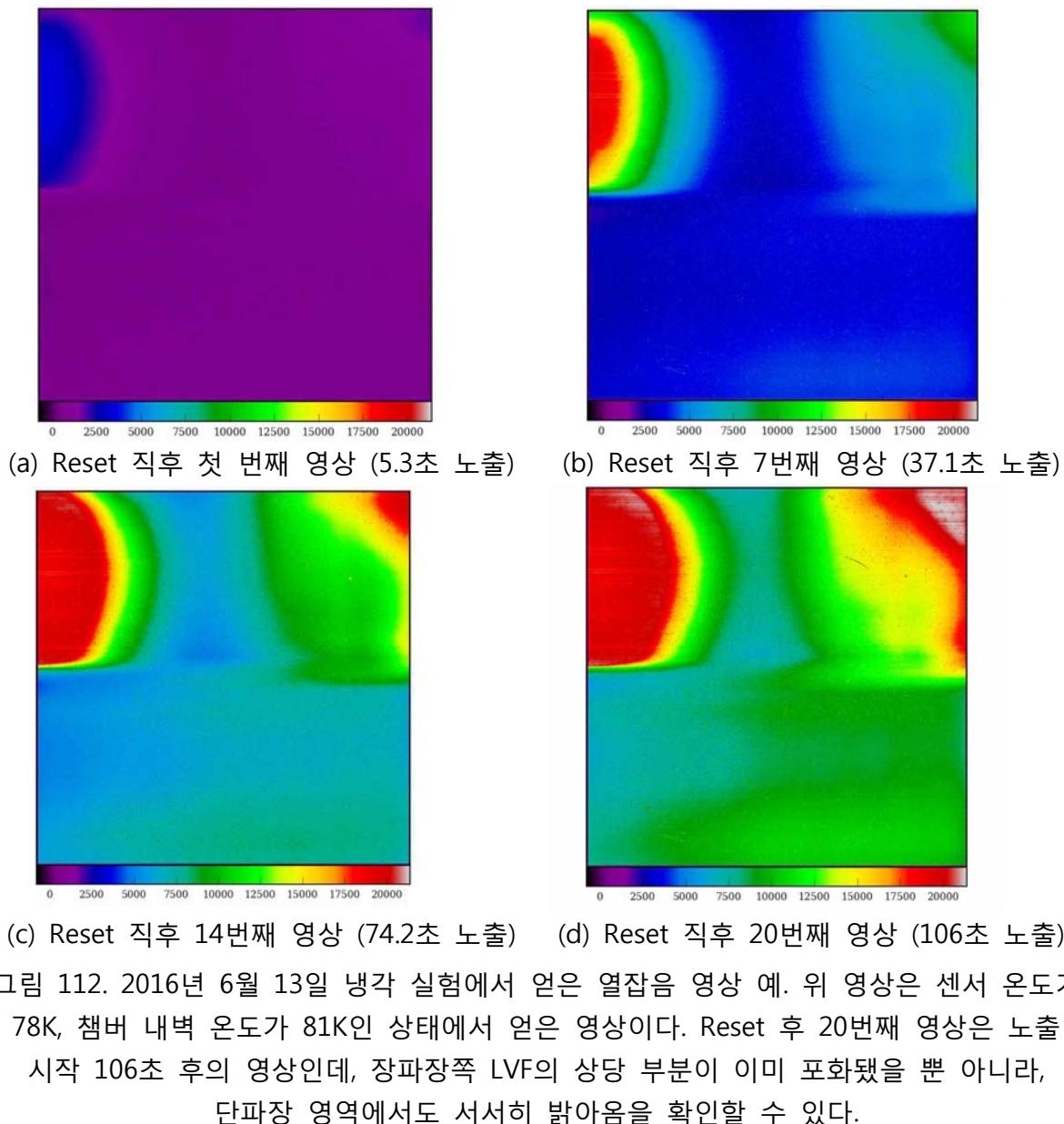


그림 112. 2016년 6월 13일 냉각 실험에서 얻은 열잡음 영상 예. 위 영상은 센서 온도가 78K, 챔버 내벽 온도가 81K인 상태에서 얻은 영상이다. Reset 후 20번째 영상은 노출 시작 106초 후의 영상인데, 장파장쪽 LVF의 상당 부분이 이미 포화됐을 뿐 아니라, 단파장 영역에서도 서서히 밝아옴을 확인할 수 있다.

<NISS 광기계부 개발>

가. NISS FM 설계 및 제작 결과

- FM 설계 형상

CDR 이후 보완 수정된 NISS FM의 최종 형상은 아래와 같다. 주요 형상 변경 사항은 EQM 저온시험을 통해서 IR 검출기(detector)를 포함하고 있는 cold-box의 형상과 dewar 인터페이스 형태가 보완 변경되었으며, NISS cooler와 연결하는 heat-path 구조물이 보완변경되었다. 또한 전체 조립의 용이함을 위해서 EQM 형상에서 부분적으로 보완 수정하였다.

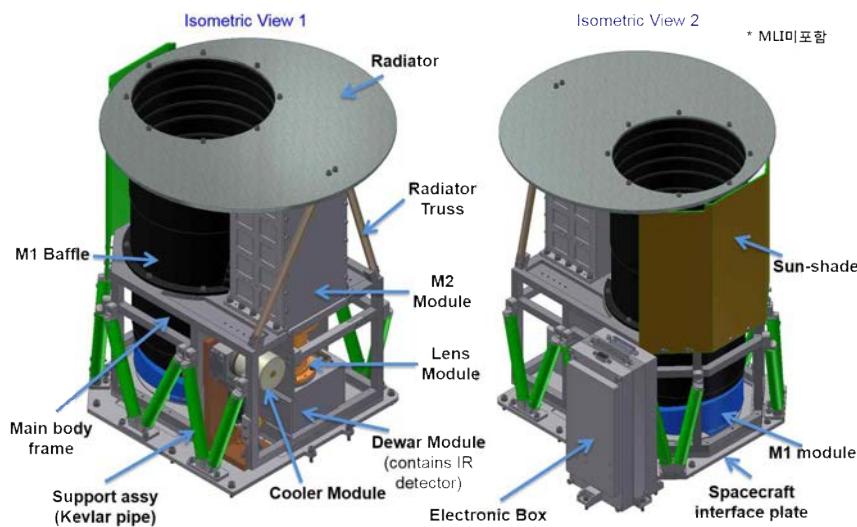


그림 113. NISS FM 최종 형상 (MLI 미포함 형상)

* 위성과 Interface 체결 볼트 정보: M4 x 16mm, 14 지점(본체 10 + 전장박스 4)

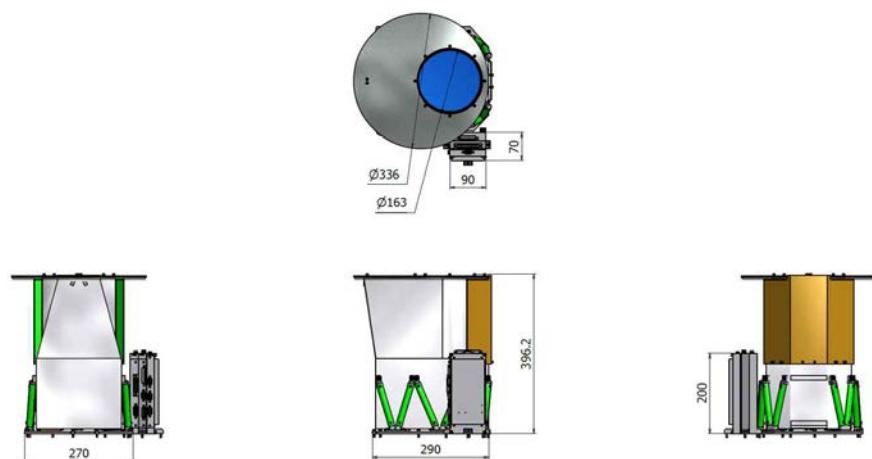
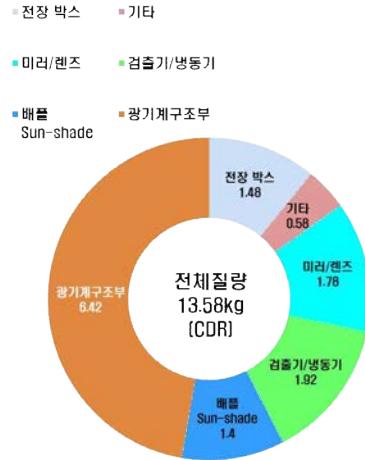


그림 114. NISS 전체 크기

- NISS Mass

NISS Mass는 CDR 이후 큰 변화가 없으며, 최종 무게는 13.58kg이다.

항목	CDR 질량(kg)	FM 질량(kg)	참고
주경	1.222	1.222	156 mm, Al
부경	0.122	0.122	66 mm, Al
Relay 렌즈광학계	0.437	0.437	
광기계부 및 기계구조부	6.419	6.419	
배플 / Sun-shade	1.396	1.396	Enterance 배플
방등기 모듈	1.270	1.270	
MLI	0.486	0.486	
듀어 모듈	0.648	0.648	IR 센서, LVF 포함
전장 박스	1.480	1.480	
Harness	0.100	0.100	
총 질량	13.580	13.580	Req. < 19kg

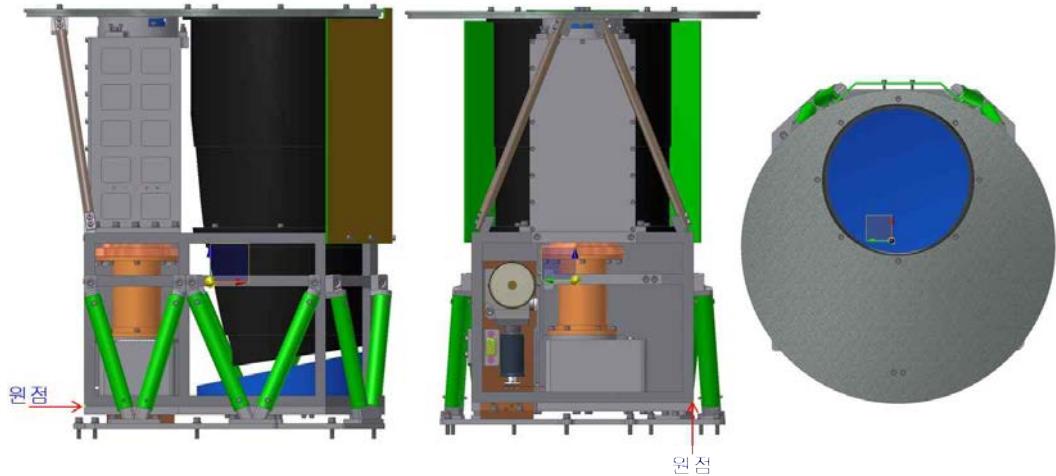


* EQM 광학시험 결과에 의한 Mass 변화는 0.1kg 이내로 예상.

그림 115. NISS Mass

- NISS 무게중심(Center of Gravity)

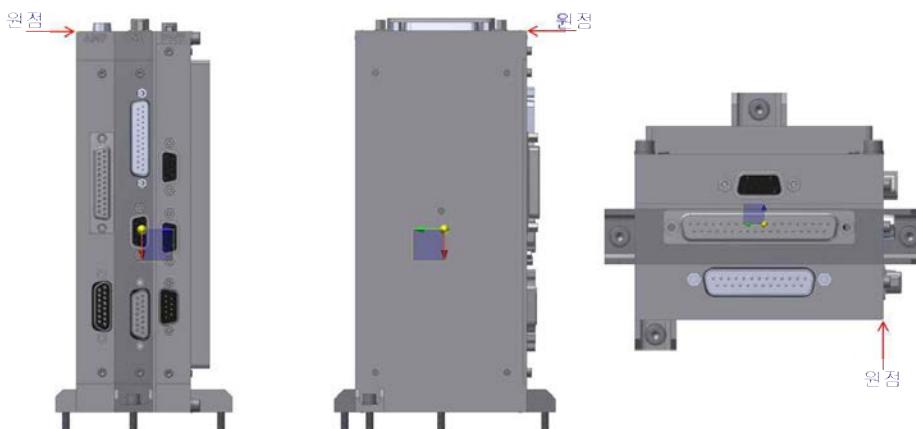
X=112.014mm, Y= -116.119mm, Z= -117.593mm (그림 참조)
Main Unit Total Mass (CAD) : 11.816kg



* 원점은 Main frame 모서리 꼭지점을 기준으로 함.

그림 116. NISS Main Unit CG

X= -34.465mm, Y= 104.109mm, Z= -43.237mm (그림 참조)
Main Unit Total Mass (CAD) : 1.220kg



* 원점은 Amp box 위쪽 모서리 꼭지점을 기준으로 함.

그림 117. NISS E-box Unit

- NISS FM 모델 분류: 서브 조립단위로 각 모듈별로 분류 수행

- 1) Lens module: 8개의 IR 렌즈, 광기계부, 배럴, cold-stop 포함
- 2) M1 module: M1 주경, M1 마운트 포함
- 3) M2 module: M2 부경, M2 마운트, 정렬 심, 마운트 지지대 포함
- 4) Main frame module: Main frame, 배풀, Radiator, Sun-shade 포함
- 5) Cooler module : K508 cooler, 방열지지대 포함
- 6) Dewar module : IR detector, LVF, shutter 포함

- NISS FM 부품 제작도면 작업 수행: 각 모듈별로 제작도면 작성 완료

아래 그림은 FM 제작도면의 일부 샘플이다.

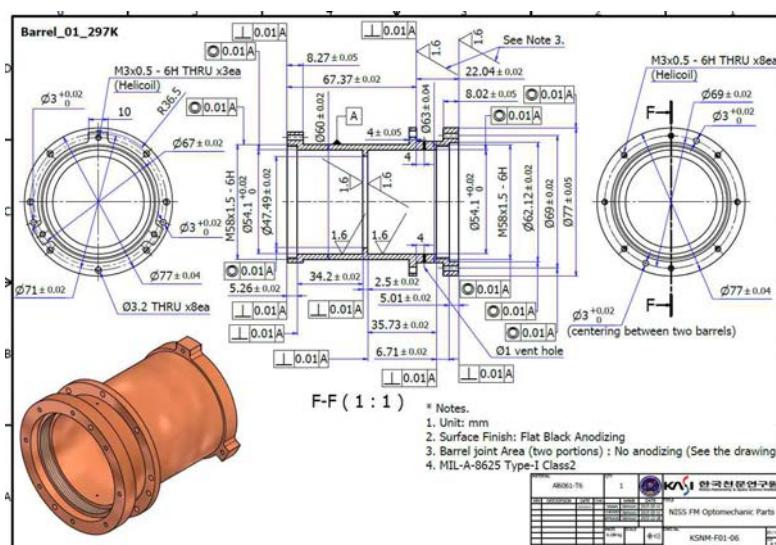


그림 117. NISS FM Barrel 도면 예제

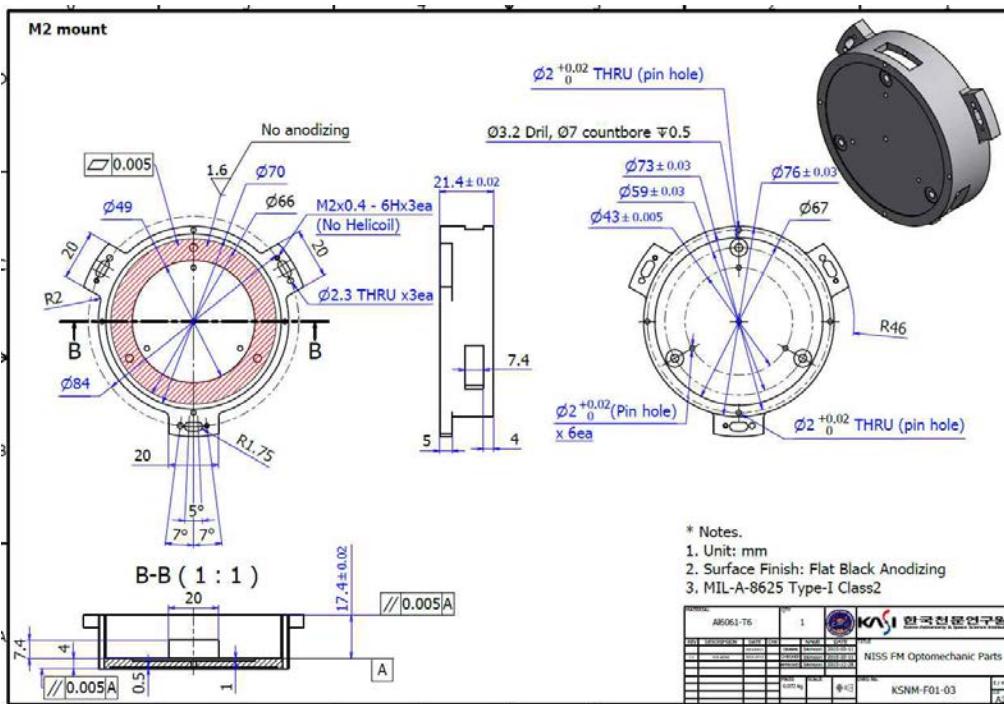


그림 118. NISS FM M1 mount 도면 예제

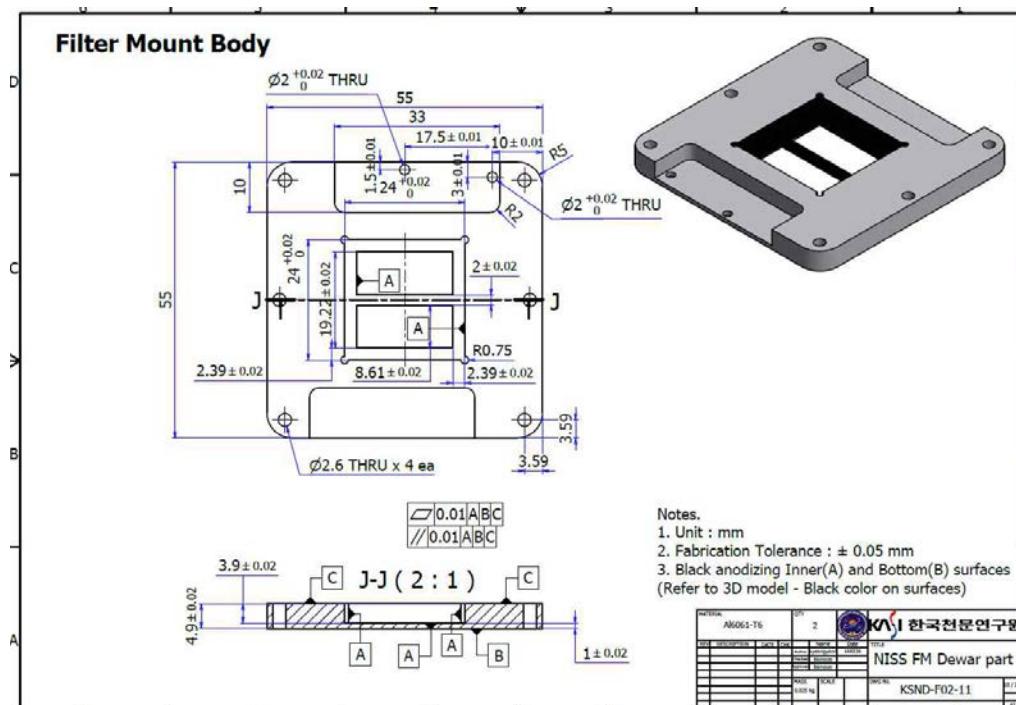


그림 119. NISS FM Filter Mount Body 도면 예제

- FM 부품 제작 결과

FM 기계부 부품은 완료된 제작도면을 기준으로 업체에 의뢰하여 제작되었으며, 부품이 문제없이 모두 입고되었다. 부품 입고 시 부품 검사를 수행했으며, 부품성적서를 함께 발행하였다. 입고 완료된 부품은 세척 후 조립 준비를 수행했다.



그림 120. FM 부품 초음파 세척



그림 121. 입고된 FM 부품

나. NISS EQM 시험 결과 및 FM 보완 수정

- EQM/FM 냉각시험을 위한 신형 열진공챔버 셋업

EQM의 충분한 냉각시험과 FM 검교정의 원활한 일정을 위해서 천문연에서는 신형 열진공챔버 장비를 제작하여 셋업하였다. 아래 사진은 실험실에 설치된 챔버 모습과 주요 사양을 나타낸다.



그림 122. 신형 IR 검교정용 열진공챔버

- EQM 냉각시험

신형 챔버에서 EQM 냉각시험을 수행하였으며, 이 시험을 통해서 초기 냉각시험에서는 Dewar 내부의 IR 검출기가 충분히 냉각하지 못하고, 약 107K 부근에서 평형을 이루는 것을 확인했다. 이러한 원인으로는 검출기 주변의 열부하가 실제 구현하는 과정에서 더욱 민감하게 반응하며, 냉동기와 연결하는 heat-path 편조선의 열저항이 매우 커서 냉동기의 충분한 냉각 능력을 내지 못하기 때문이었다. 이러한 문제점을 개선하는 작업이 상당한 시간이 걸리는 작업이 소요되었으며, 결과적으로 충분히 냉각할 수 있음을 확인하였다.

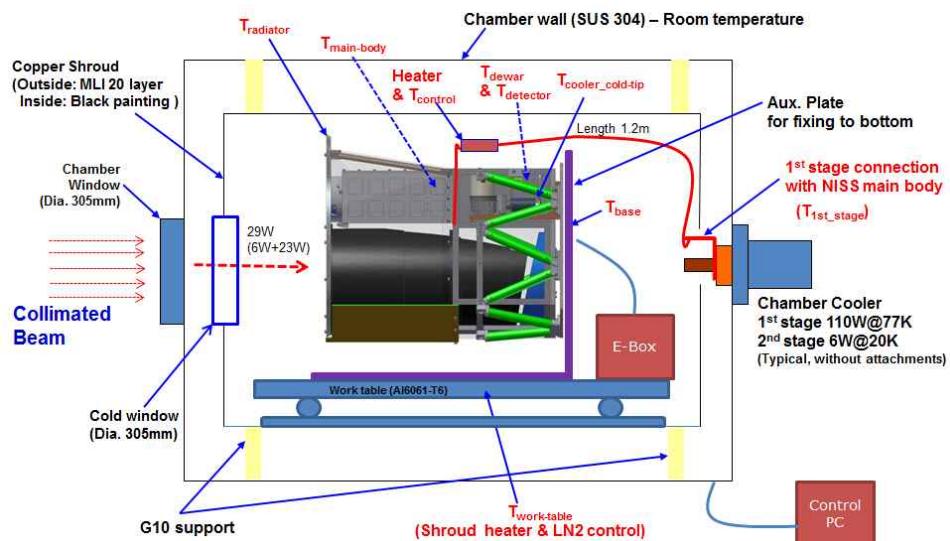


그림 123. EQM Focusing Test Setup

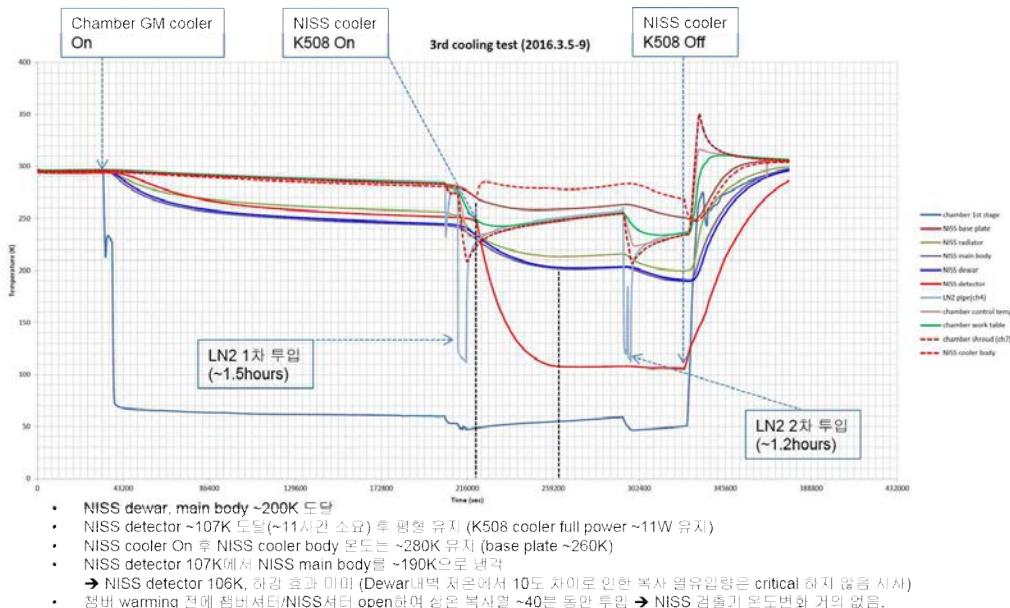


그림 124. EQM 초기 냉각 시험 결과

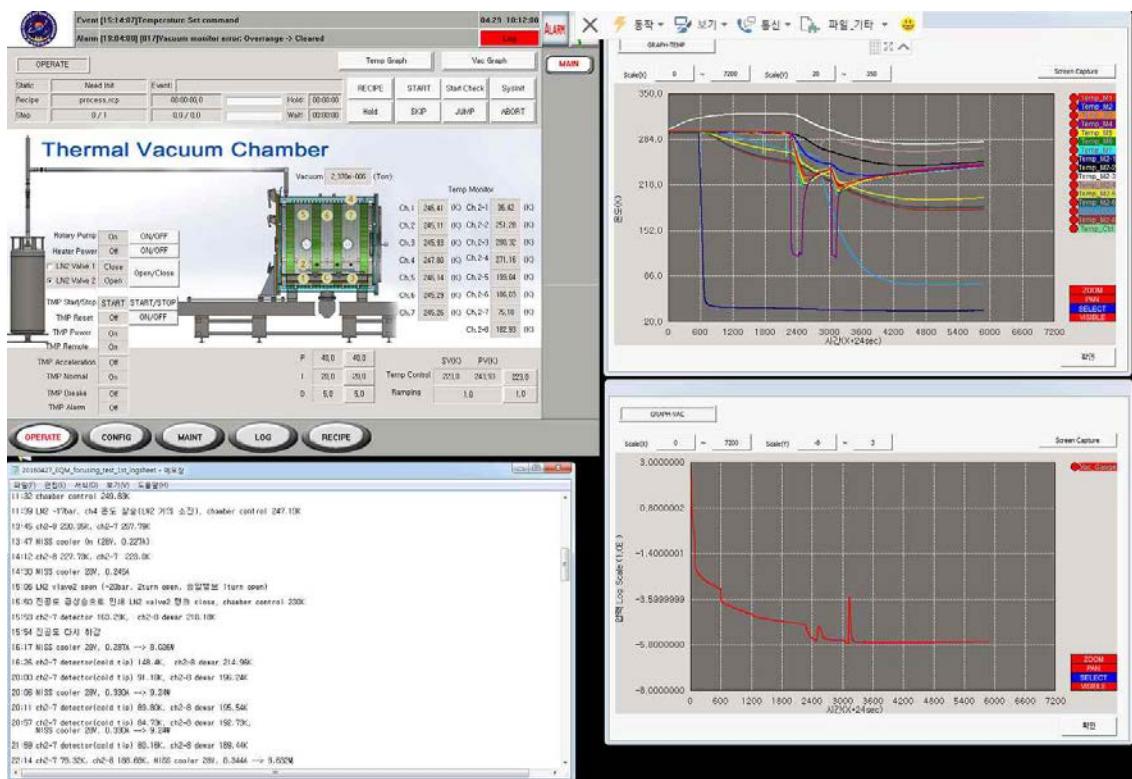


그림 125. 최종 EQM 냉각 시험 결과 (80K 도달 확인)

- FM 보완 수정

EQM 시험결과를 통해서 IR 검출기가 포함되어 있는 Dewar 구조물의 80K 냉각시험이 쉽지 않음을 확인했으며, 이것의 해결방법은 K508 냉동기 cold-tip과 연결하는 heat-path의 단면적

설계가 매우 중요하며, cold-box 내부 열부하도 실제 구현하는 것을 고려하여 충분한 마진이 필요함을 확인하였다. 아래 그림은 EQM 당시의 heat-path 편조선 모습과 개선된 FM 모습을 나타내며, 열부하를 줄이기 위한 G10 지지대 개선형상을 나타낸다.

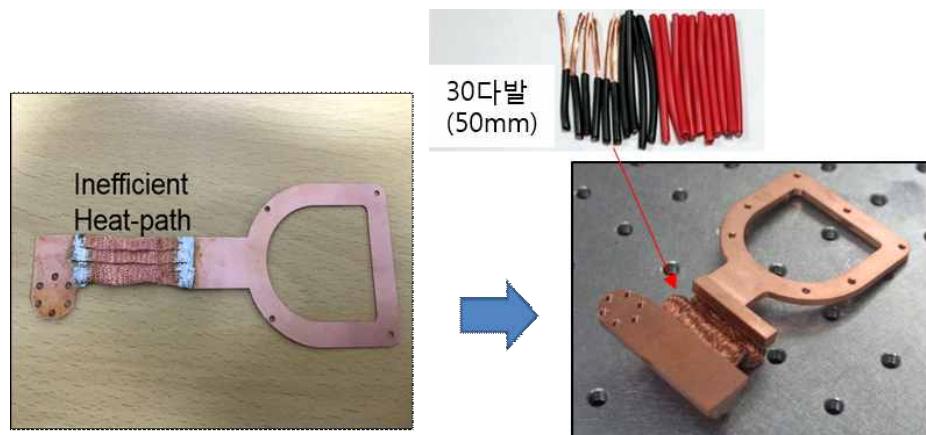


그림 126. 냉동기와 연결하는 Heat-path 편조선 개선

- ◆ 길이를 EQM보다 2배 더 증가시키고 단면적 $\frac{1}{2}$ 감소: 열유입 4배 감소

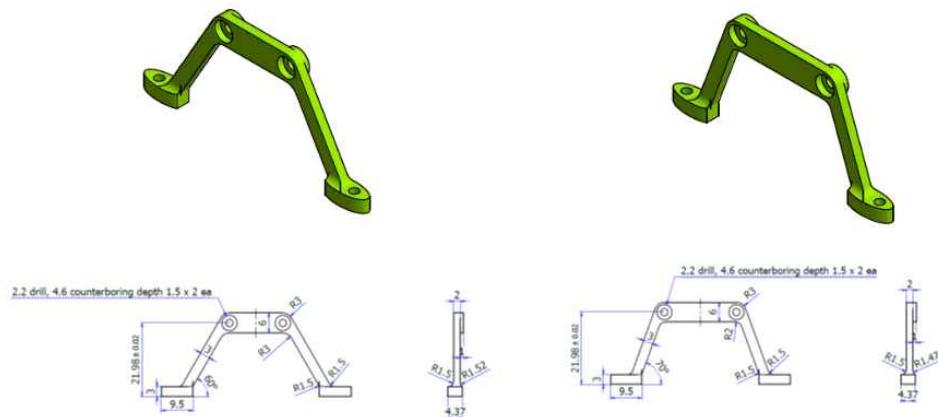


그림 127. Cold-box를 지지하는 G10지지대 형상 개선

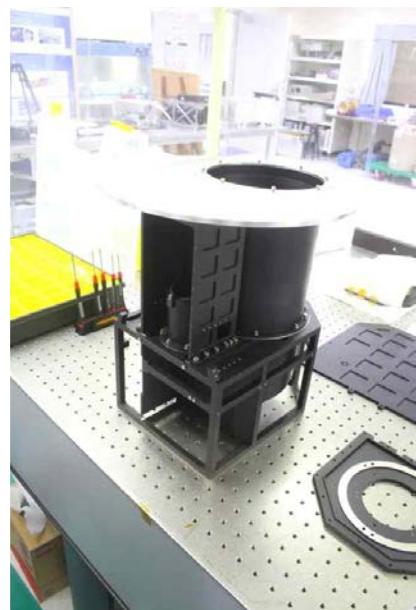
다. NISS FM 조립

- FM 가조립

세척 준비된 FM 부품에 대해서 부품의 조립성 여부를 판단하기 위해서 가조립을 수행하였
다. 부품 가조립 결과 간섭이나 조립이 되지 않는 부분은 없었다.



Class 1000 아래의 정정실 내부에서 FM 가조립 수행



FM 가조립 중간 상태

그림 128. FM 부품 가조립

- FM 광기계부 조립

FM 광기계부 부품을 이용하여 실제 정렬 조립절차를 기준으로 조립을 수행하였으며, 아래 그림은 그 예로 렌즈 조립에 사용된 부품을 보여주며, 최종 조립을 통해서 적용된 shim 과 preload 등을 표로 정리하였다.



그림 129. NISS 렌즈조립을 위한 광기계부
부품 준비 모습

Item	FM Thickness (mm)	Step Measure (mm)	Retainer Gap (mm)	Deformation Req. (mm)	Thickness Estimation (mm)	FM Shim Thickness (mm)	FM Shim Config.
	A	B	A-B	C	C-(A-B)		
Retainer 1	1.50	1.307	0.193	0.524	0.331	0.33mm	0.2(1ea), 0.1(1ea), 0.02(1ea), 0.01(1ea)
Retainer 2	1.50	1.474	0.026	0.510	0.484	0.48mm	0.2(2ea), 0.05(1ea), 0.02(1ea), 0.01(1ea)
Retainer 3	0.78	0.740	0.040	0.298	0.258	0.25mm	0.2(1ea), 0.05(1ea)
Retainer 4	0.99	0.778	0.212	0.290	0.078	0.08mm	0.05(1ea), 0.02(1ea), 0.01(1ea)

FM Item		Spring Constants Measure (N/m)	Preload Design (N)	Preload Deformation (mm)	FM Deformation (mm)	FM* Preload (N)	Damage S.F.	Launch S.F.
Flexure 1	1-A	563032	294.90	0.524	0.523	294.47 (149.5G)	2.0	14.9
Flexure 2	2-B	612563	312.12	0.510	0.506	309.96 (195.2G)	2.1	19.5
Flexure 3	3-B	274295	81.68	0.298	0.290	79.55 (156.1G)	2.1	15.6
Flexure 4	4-B	344747	99.91	0.290	0.292	100.67 (171.2G)	2.2	17.1

* Retainer Torque : 3.543Nm (Ret.1), 3.748Nm(Ret. 2), 0.404Nm(Ret. 3), 0.5343Nm(Ret.4)

그림 130. 광기계부 렌즈 조립에 적용된 최종 flexure preload와 shim 값.

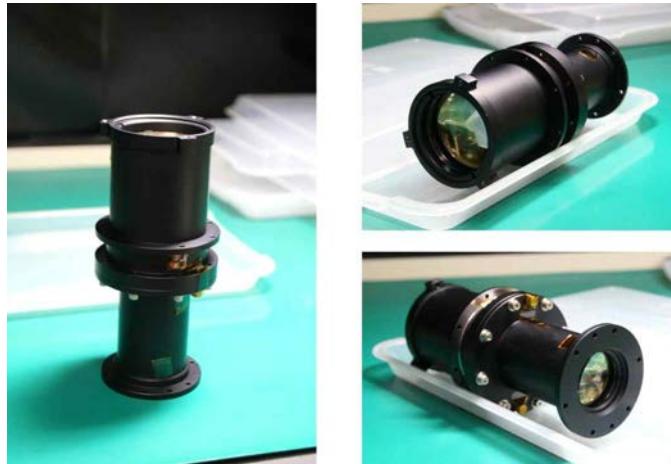


그림 131. 최종 조립된 NISS FM 렌즈 배럴부

- FM 조립

기본적인 조립절차를 바탕으로 FM 구조물에 대하여 실제 최종 조립을 수행하였다. 이작업에는 각 모듈별로 먼저 조립이 이뤄지고, 광기계부의 조립정렬이 먼저 수행된 후 열구조계구조물과 함께 조립되어, 최종 하네스 작업을 거친후 MLI 포장으로 마무리 되었다. 아래 그림은 FM 조립 과정을 보여주며, 최종 형상을 함께 보여준다.

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.



그림 132. NISS FM 조립 과정 모습



그림 133. NISS FM 최종 조립 형상

라. NISS FM 통합시험

전체 최종 조립된 형상을 기준으로 정해진 절차에 따라서 전체 통합시험을 수행하였다. 아래 시험 형상은 NISS FM 조립구조물을 냉각시험을 위해서 대형챔버에 셋업하는 형상을 보여주며, 진공챔버를 닫고 펌핑 후 극저온으로 냉각하는 모습을 나타낸다. 관련 성능시험은 업무파트별로 함께 병행하여 수행하였다.

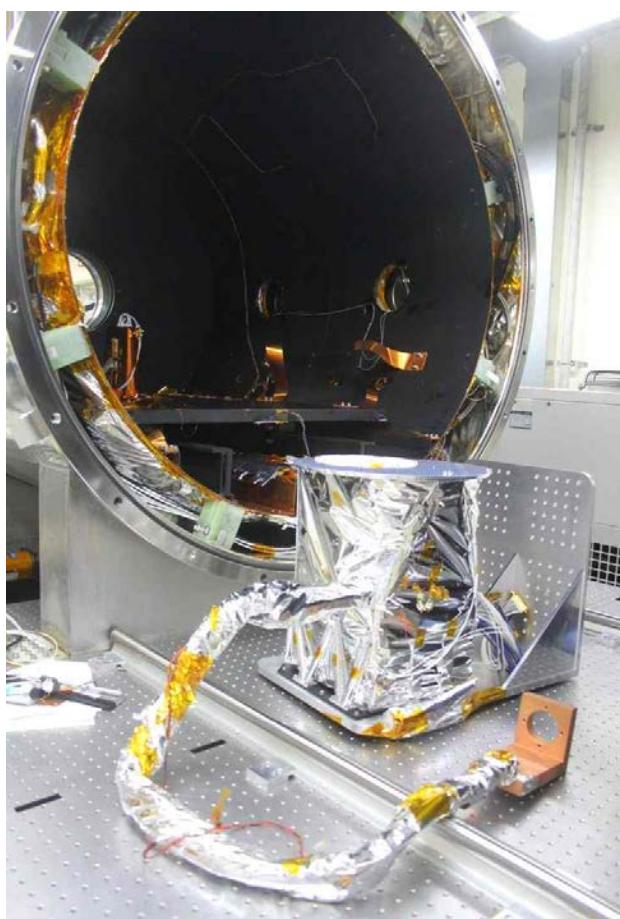


그림 134. NISS FM 통합시험 대형챔버
셋업모습

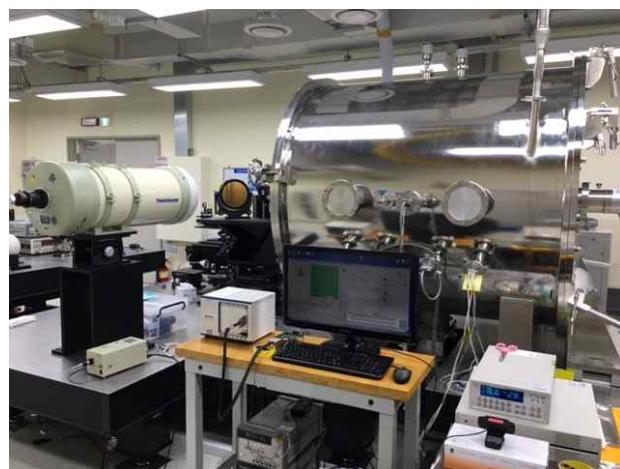


그림 135. 대형챔버 냉각시험 모습

- NISS FM Focus Test

NISS FM에 대한 Focus Test를 대형챔버에서 수행하고 있으며, 그 1차 시험결과를 아래 그림과 같이 확인하였다. 왼쪽 위부터 오른쪽아래 순으로 collimator micrometer 위치 1.5mm, 2mm, 4mm, 6mm, 8mm, 10mm, 12mm를 나타내며, 이 분석으로부터 Focus plane의 위치는 2mm 근처에 있음을 확인했으며 정밀 데이터 분석을 통해서 초점면 정렬을 완료하게 된다.

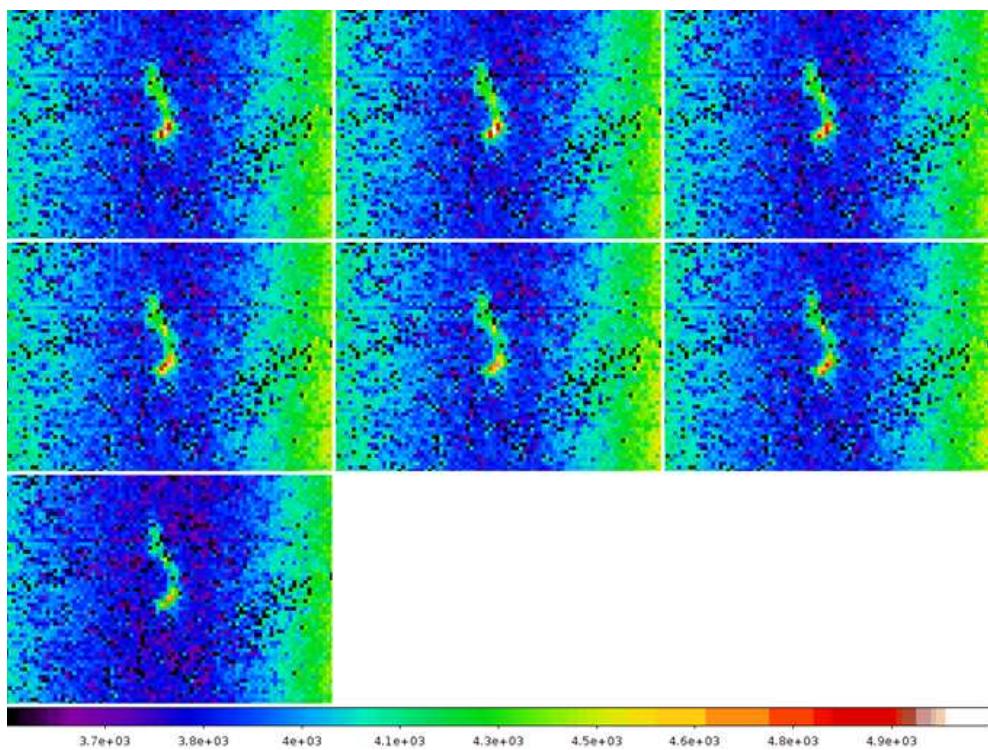


그림 136. NISS FM Focus Test 이미지들. 왼쪽위부터 오른쪽아래까지 collimator의 defocus를 수행하며 획득한 이미지이다.

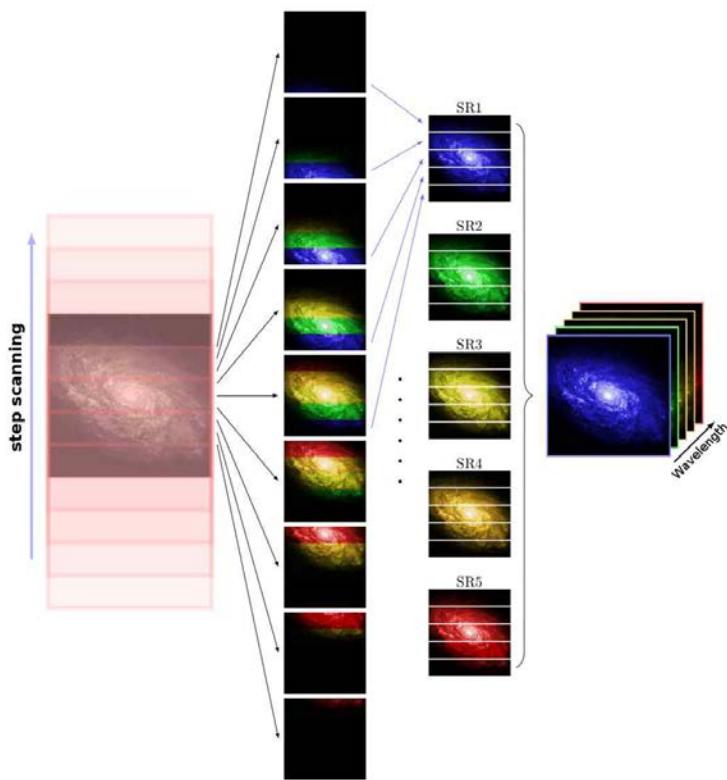
<NISS 자료처리 파이프라인 설계>

NISS는 한 필드에 대하여 LVF의 파장이 바뀌는 방향으로 위치를 약간씩 옮겨가면서 여러 번 관측한다. 위치를 옮기는 것은 각 큐도에서 관측할 때마다 지향 방향이 약간씩 바뀌는 것으로, 각 개별 관측 동안에 자세를 바꾸는 것은 아니다. 따라서 각 관측에서 얻어지는 자료는 어느 정도 수준에서는 독립적으로 처리될 수 있다. 이를 기준으로 NISS의 자료처리 파이프라인을 세 레벨로 구성하였다. 레벨0 파이프라인은 버스에 탑재될 전자부에 구현되는 것으로 큐도 상에서 관측하는 동안 작동한다. 레벨1 파이프라인은 레벨0에서 얻어진 자료를 지상에서 처리하는 것으로 개별 관측 자료를 처리한다. 레벨2 파이프라인은 레벨1을 거친, 같은 필드를 관측한 자료들을 모아 처리하여 관측 대상에 대한 분광영상을 산출한다. 아래 그림은 관측 운용에서 최종 결과물이 얻어지기까지의 과정을 간략하게 나타낸 것이다. 여기에서 레벨0 파이프라인은 맨 왼쪽의 관측 단계에서 작동하고 레벨1은 그 결과물을 처리하여 왼쪽에서 두 번째 열에 해당하는 영상을 만든다. 레벨2는 이 영상들을 모아 처리 및 분석하여 맨 오른쪽과 같이 영상 정보와 파장 정보를 모두 포함하는 자료를 만들어낸다.

레벨0 자료처리 파이프라인은 검출기에서 얻어지는 자료를 읽고 처리하여 저장하는 부분으로 주요 기능은 아래와 같다.

- 검출기에서 자료 읽기
- 읽은 자료의 2×2 binning
- 자료에 HK 정보 추가 및 패킷화

이러한 기능들은 버스에 탑재될 전자의 FPB, AMP, DSP 보드 등에 구현된다. 레벨0 자료처리 파이프라인에서 처리된 후 버스의 MMU에 전송/저장되며 추후 지상국으로 전송된다. 지상국으로 전송된 데이터는 다시 천문연으로 전송되어 레벨1/레벨2 자료처리 파이프라인을 거치게 된다.



레벨1 자료처리 파이프라인은 개별 관측을 통하여 얻어진 자료를 지상에서 처리한다. 개발 과정에는 MIRIS SOC 개발 과정에서 얻은 헤리티지를 활용한다. 이 파이프라인은 nissdr이라는 이름으로 불리고 있으며, NISS FM과 함께 납품될 예정이다. nissdr은 파이썬 패키지인 Astropy를 기반하고 있으며, 아래와 같은 하부 요소로 구성된다.

- io: 레벨0 자료처리 파이프라인에서 얻어진 자료를 FITS 형식으로 저장하고 자료처리 과정에서 필요한 자료형을 정의
- mainproc: 주 영상처리 수행
- postproc: 후 영상처리 수행
- utils: 여러 요소들에 공통으로 필요한 함수 등을 정의

주 영상처리를 수행하는 mainproc에는 아래와 같은 기능들이 구현된다.

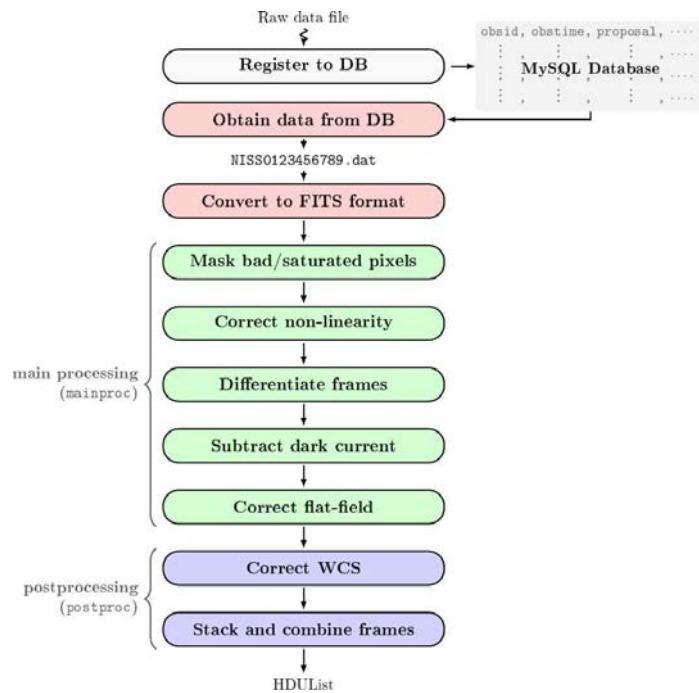
- PixelMasking: 각 프레임에서 선형성이 나쁜 픽셀들과 포화된 픽셀들을 마스크한다. 선형성이 나쁜 픽셀들의 위치와 픽셀의 포화값은 지상실험 동안 확인될 것이고 궤도 상에서 얻은 관측 자료를 이용하여 주기적으로 확인할 예정이다.
- LinearityCorrection: 검출기의 비선형성을 보정한다. 비선형성은 지상실험을 통하여 파악될 것이고 역시 궤도 상에서 확인할 예정이다.
- Differentiation: Multiple sampling 방식으로 읽은 프레임들을 차분한다.
- DarkSubtraction: 암전류 성분을 뺀다. 궤도 상에서는 모든 픽셀의 암전류를 측정할 수 없기 때문에 지상실험에서 여러 환경의 암전류 영상을 얻어 자료처리에 활용할 예정이다.

- FlatCorrection: 각 프레임의 비평탄성을 보정한다. 지상실험에서 적분구를 이용하여 비평탄성을 보정할 수 있는 템플릿을 얻어 활용할 예정이다. 하지만 지상에서 얻은 템플릿은 그 정확도가 제한적이기 때문에 궤도 상에서 배경광을 촬영한 영상을 이용하여 다시 얻어 확인해야 한다. 위에서 여러 기기 특성들은 궤도 상에서 재검보정이 필요한데, 이러한 과정은 MIRIS SOC의 경우에도 거쳐 SOC 자료처리 파이프라인(socdr)에 반영하였으며 그 경험을 보유하고 있다.

후 영상처리를 수행하는 postproc에는 아래와 같은 기능들이 구현된다.

- WCSCorrection: 각 프레임의 WCS(world coordinate system) 정보를 보정한다. 버스의 AOCS에서 얻은 위성의 위치와 자세 제어를 이용하여 각 프레임의 WCS 정보를 계산할 수 있지만 더 높은 정밀도를 위하여 이를 보정할 필요가 있다. 보정 방법은 기본적으로 각 프레임에 촬영된 별의 위치와 여러 기존의 별 목록을 비교하는 것이다. 이러한 기능을 구현한 여러 소프트웨어가 이미 존재하지만 socdr에서는 Astrometry.net이라는 소프트웨어 모음을 활용하였으며, nissdr에서도 동일한 소프트웨어를 사용할 예정이다.
- FrameStacking: 위에서 보정한 WCS를 이용하여 한 관측 동안 촬영한 프레임들을 합친다. 프레임들을 합칠 때 측정된 플럭스가 보존되어야 한다. 이러한 기능은 NASA의 IPAC(Infrared Processing and Analysis Center)이 개발한 Montage를 통하여 구현할 예정이다.

후 영상처리는 수학적으로 복잡하여 직접 구현하기 쉽지 않은 반면, 높은 신뢰성이 요구되기 때문에 주로 외부 프로그램을 활용할 예정이다. 이 프로그램들은 socdr에서도 이용되었기 때문에 nissdr에도 쉽게 이식할 수 있다. 위 과정을 도식으로 나타내면 아래와 같다.



레벨2 자료처리 파이프라인은 레벨1 파이프라인에서 얻어지는 자료를 모아 분광영상 자료를 생산한다. 현재 이 파이프라인은 설계 단계로 논문 등을 통하여 기존의 관측 기기에 대하여 구현된 방식 등을 연구하고 있다. 레벨2 파이프라인의 구조와 최종 산출물에 대한 상세는 각 과학 연구 목적에 따라 달라질 수 있기 때문에 설계에 신중을 기해야 한다. 레벨2 파이프라인은 NISS 납품 후 본격적인 개발이 시작될 예정으로 위성 발사 전까지 완성하는 것을 목표로 삼고 있다.

3. CIBER2 전자부 개발

가. 관측자료 저장용 HDD board FPGA Flight code 작성

CIBER2 카메라가 과학로켓에 탑재되어 발사, 운용될 때에 관측되는 자료는 HDD board의 Flash memory에 기록되어지며, 이 데이터는 로켓을 회수한 뒤에 읽혀진다. HDD board 상의 FPGA는 적외선센서 Readout board에서 들어오는 시리얼 데이터를 board 상에 있는 두 개의 Flash memory에 각각 쓰고 읽는 기능을 가져야 하는데, 다음 그림은 FPGA functional block diagram을 보여준다. Flash memory는 256Gb의 용량을 가졌으며 redundancy를 위해 두 개가 있다.

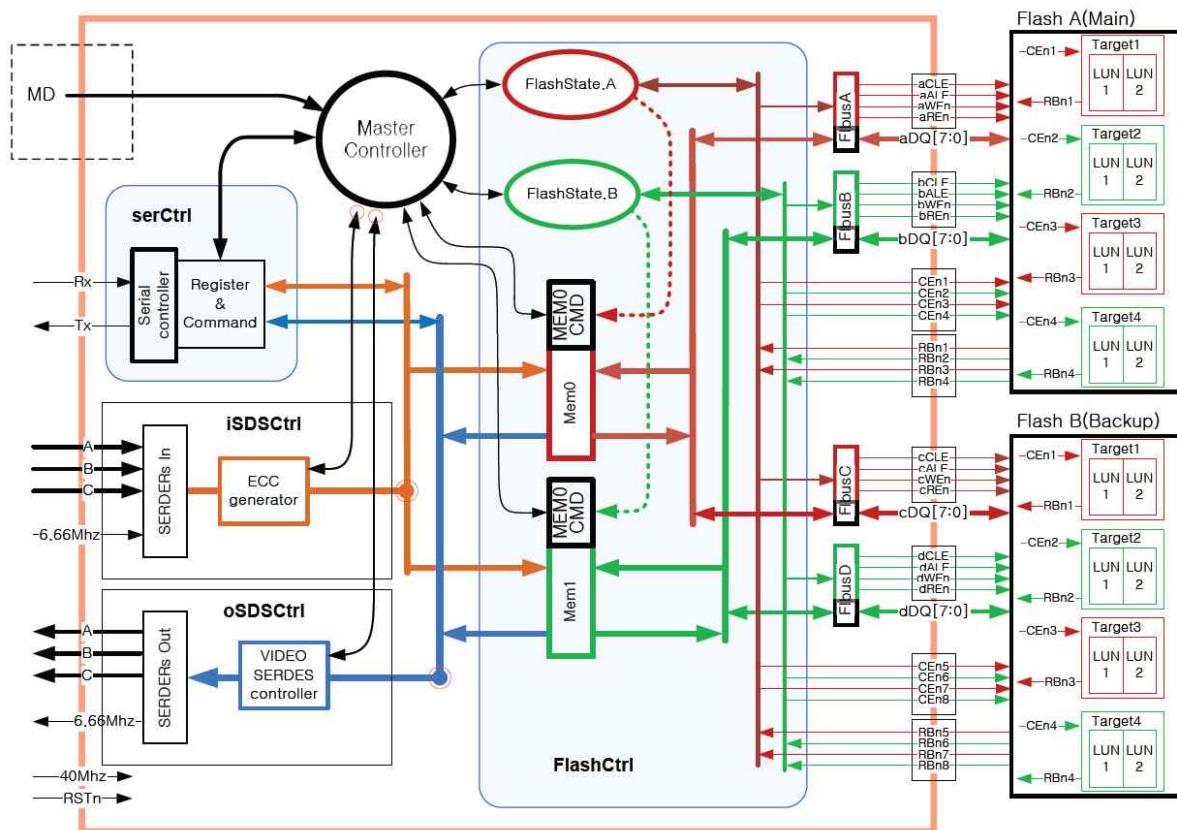


그림 137. HDD board 상의 FPGA functional diagram

FPGA는 아래 그림과 같이 네 개의 모드가 있는데, 각 모드에 대한 설명은 다음과 같다.

- Flight mode : 데이터를 메모리에 쓰는 모드
- Recovering mode : 데이터를 메모리에서 읽는 모드
- Erase mode : 메모리를 포맷하여 처음 상태로 만드는 모드
- Test mode : 메모리를 읽거나 쓰지 않고 들어오는 데이터를 바로 시리얼로 전송하는 모드

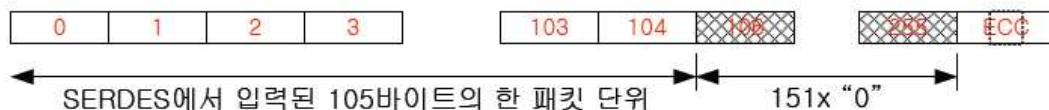
JP5	JP4	Operation mode	DS(?)	GSE	TM	Serial	Remark
1(open)	1(open)	Flight	Flash Write	X	O	X	- start : DATAEN(/w PCLK)
1	0	Recovering	Flash Read	O	X	O	- iMEM → SERDES - Command : Serial
0	1	Erase(→Serial)	Flash Erase(Test)	O	X	O	- iMEM <→ Serial - Command : Serial
0(short)	0(short)	Test(Pre-flight)	SERDES In/Out	O(X)	X(O)	X	- No memory access

그림 138. FPGA modes

또한 데이터를 메모리에 쓰고 읽는 과정에서 발생할 수 있는 오류에 대비하여 다음과 같은 ECC (Error Correction Code)를 매 패킷마다 삽입한다.

1. ECC 생성방법

- SERDES에서 입력된 105바이트 데이터와 0으로 채워진 151 바이트를 합하여 ECC 생성에 필요한 256 바이트를 구성한다.
- 구성된 256바이트를 이용하여 ECC를 생성한다.



2. Flash 메모리로의 저장

- SERDES에서 입력된 105바이트 와 ECC에서 생성된 3 바이트 총 108 바이트를 저장한다. ECC 패킷을 구성하기 위한 151 바이트의 “0” 데이터는 Flash 메모리로 저장하지 않고 버린다.
 $(105 + 3) \times 80 = 8640$ byte (Flash Memory의 한 페이지 크기와 같다 ^^;;)
즉, Flash의 한 페이지에 SERDES에서 입력된 80개의 패킷이 저장된다.

3. Flash 메모리로의 저장방법

- 데이터와 ECC를 별도로 저장한다. → 1안
 - 순서대로 데이터, ECC → 2안
- FPGA 설계를 하면서 회로설계에 편리한 방법을 선택한다.

그림 139. 데이터 오류를 방지하기 위한 ECC (Error Correction Code)

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

다음 그림은 Flash memory를 콘트롤하기 위한 FPGA serial 통신 code를 보여준다.

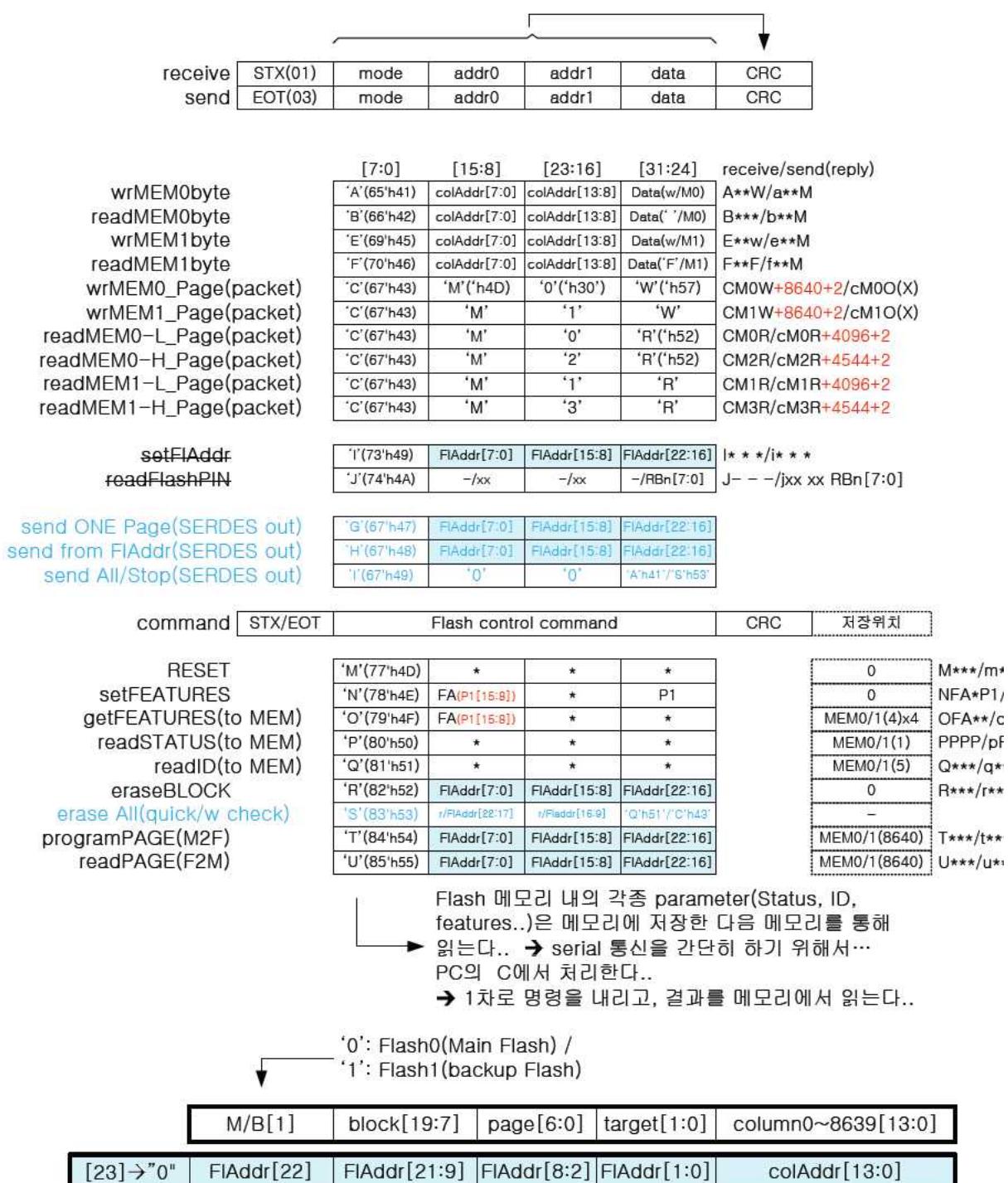


그림 140. FPGA serial communication codes for Flash memory control

다음 그림은 실제로 구현된 serial data mapping 사례이다.

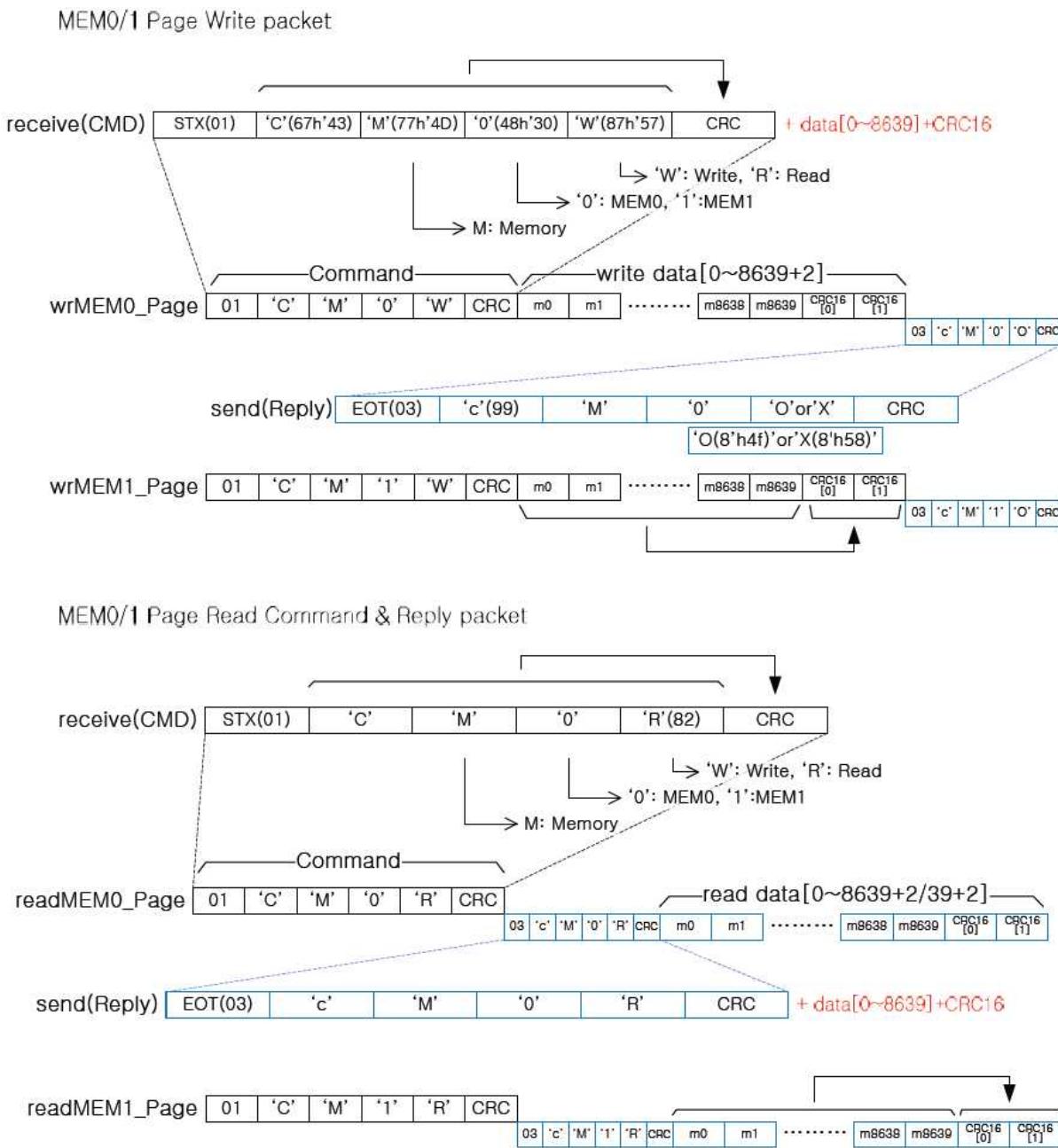


그림 141. FPGA serial communication data mapping example

FPGA내의 code block은 다음 그림과 같이 구성된다.

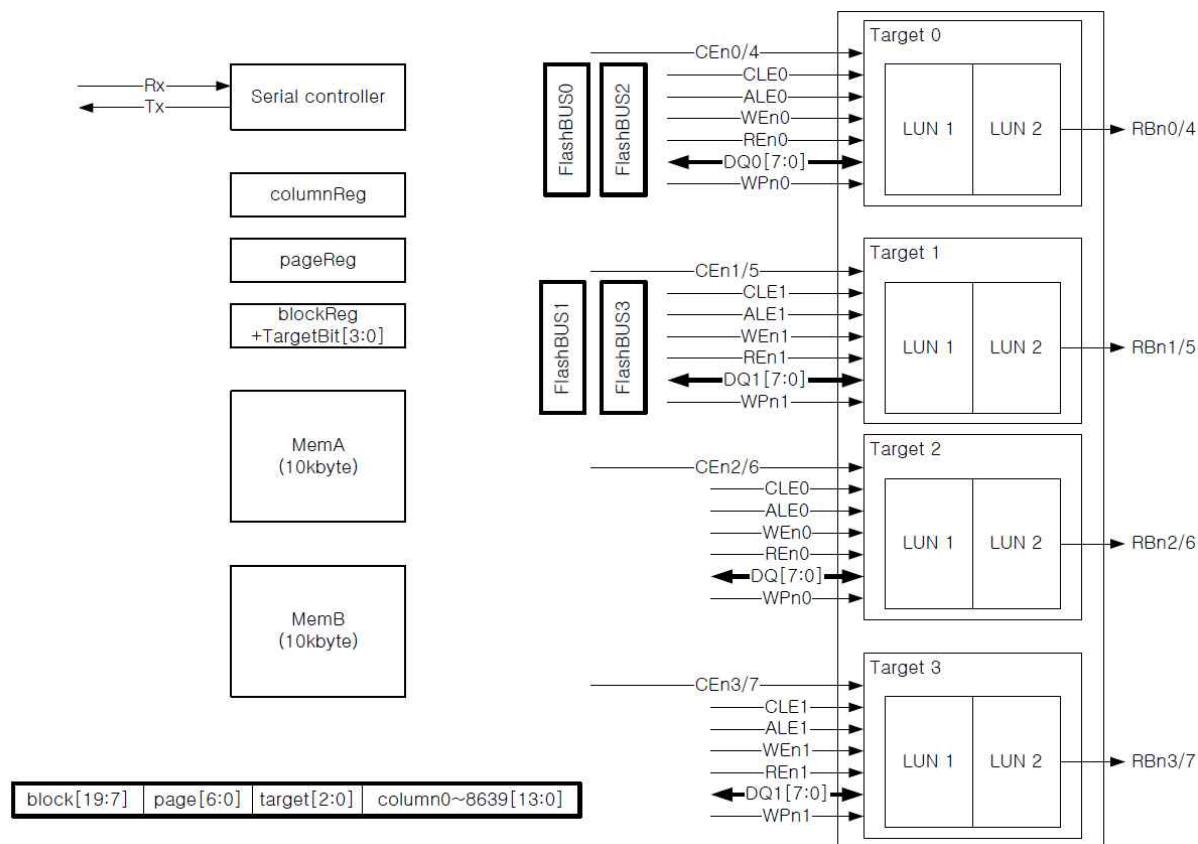


그림 142. FPGA code blocks to control Flash memories

FPGA에서 입력되는 데이터를 Flash memory에 쓰기 위한 timing analysis 결과는 다음 그림과 같다.

한 페이지당 : 2816 pixel / 6.666MHz = 150ns
한 페이지당 할당된 시간 : 2816 x 150ns = 422.400us
tPROG = 350~560us
40Mhz = 25ns,
한 페이지당 쓰는 바이트 수 = 8547

@40Mhz/프로그램 초기 사용되는 클럭수 = 8 pulse x 2 x 25ns = 400ns
@40Mhz/데이터 쓰는데 걸리는 시간 = 8747 x 2 x 25ns = 427,350us

@50MHz/프로그램 초기 사용되는 클럭수 = 6 pulse x 2 x 20ns = 240ns
@50MHz/데이터 쓰는데 걸리는 시간 = 8747 x 2 x 20ns = 349,800us

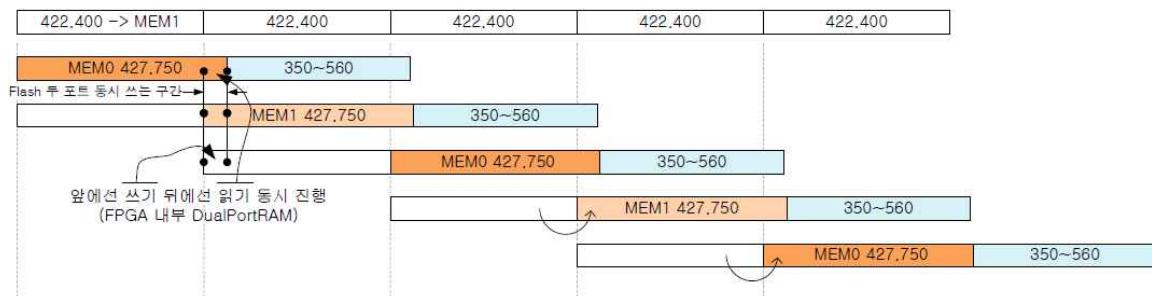


그림 143. FPGA data timing analysis

다음 그림은 실제 데이터를 메모리에 쓰기 위한 clock analysis 결과이다.

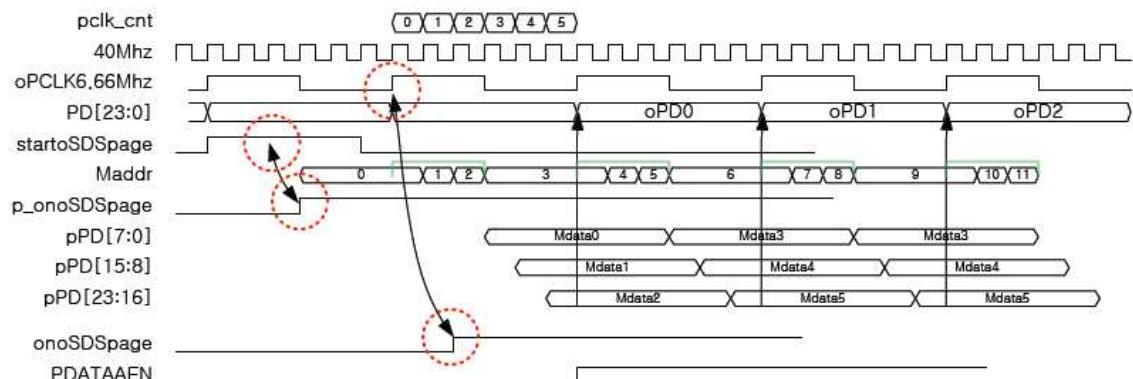


그림 144. FPGA data clock analysis

나. 지상 전자 장비를 위한 Power Deck 제작

CIBER2는 총 3 세트의 적외선 센서 및 전자부가 있으며 이들의 전력을 공급하기 위해 별도의 지상 전원 시스템이 필요하다. 지상 전원 시스템의 요구 조건 및 규격은 다음과 같다.

- 3채널 파워

AC POWER : AC110V ~ AC220V, 50/60Hz

채널 1 출력 : +15V/-15V/+5V

채널 2 출력 : +15V/-15V/+5V

채널 3 출력 : +15V/-15V/+5V

- 1채널당 전류 스펙

+15V : 1.5A ~ 2.0A, -15V : 0.5A, +5V : 0.5A

- 사용 모듈

+5V/9A (SEK105WR, ORD.NO : 13100043) : 3U/6HP

+5V/1.5A, +5V/1.5A (PSM205, ORD.NO : 13105021) : 3U/10HP

+5V/1.5A, +5V/1.5A (PSM205, ORD.NO : 13105021) : 3U/10HP

+5V/1.5A, +5V/1.5A (PSM205, ORD.NO : 13105021) : 3U/10HP

+15V/1.3A, -15V/1.3A (NND30-1515) : 3U/16HP (18HP로 간주)

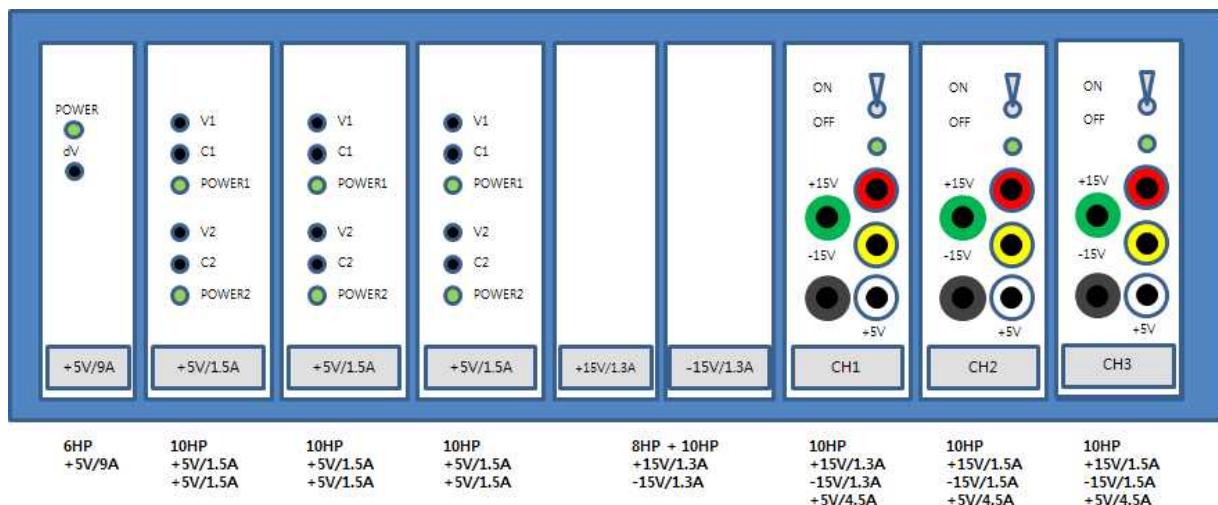
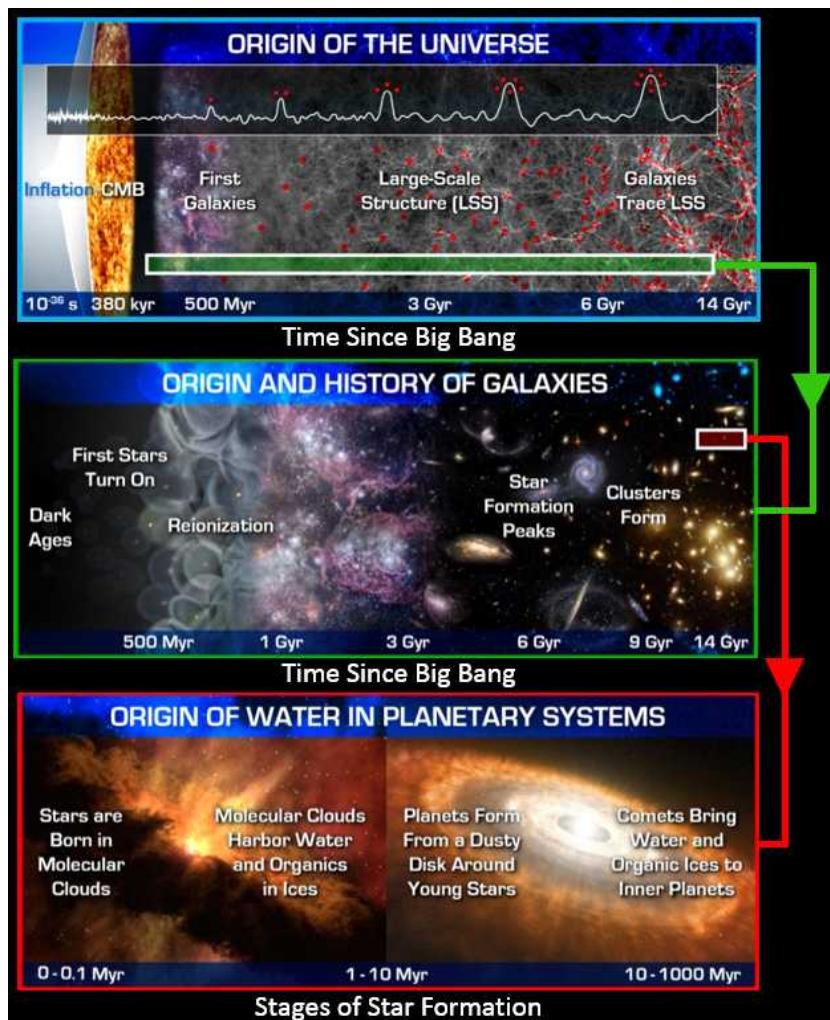


그림 145. CIBER2 지상 전자 장비용 3 채널 Power Deck

4. 전천 적외선 영상분광 탐사를 위한 기획연구



SPHEREx(SPectro-PHotometer for the Extragalactic structure, Reionization and ice Explorer)는 NASA SMEX (SMall EXploration) 미션으로 제안된 전천 적외선 영상분광 탐사를 위한 프로젝트이며, Caltech (PI: Jamie Bock)이 주 기관으로 천문연과 함께 국제협력 미션으로 추진 중에 있다. 주요 사이언스는 1) The Origin of the Universe, 2) The Origin and History of Galaxies, 3) The Origin of Water in Planetary Systems이다. 위에서부터 아래로 초기 우주 구조인 큰 규모로부터 작은 규모인 행성계까지 다양한 분야의 사이언스가 가능하며, 우주의 생성, 은하의 진화, 행성계의 기원 등 최근 천문학의 주요한 이슈들을 포함하고 있다. 이는 SPHEREx가 가지는 독특한 장점인 분광 정보와 영상 정보를 동시에 가지면서 가시광 ~ 중적외선에 이르는 다양한 파장대를 커버하기에 가능하다.

분광영상 기능을 구현하기 위해, LVF(Linear Variable Filter)라는 특별한 분광필터를 채택하였으며, 이로부터 0.75 ~ 5 μ m의 넓은 파장대를 커버하는 것이 가능해졌고, moving part가 없어 위성 발사환경에도 잘 견딜 수 있어, 현재 개발 중인 차세대 소형위성 1호 탑재체인 근적외선 영상분광기 NISS에도 채택되었다.

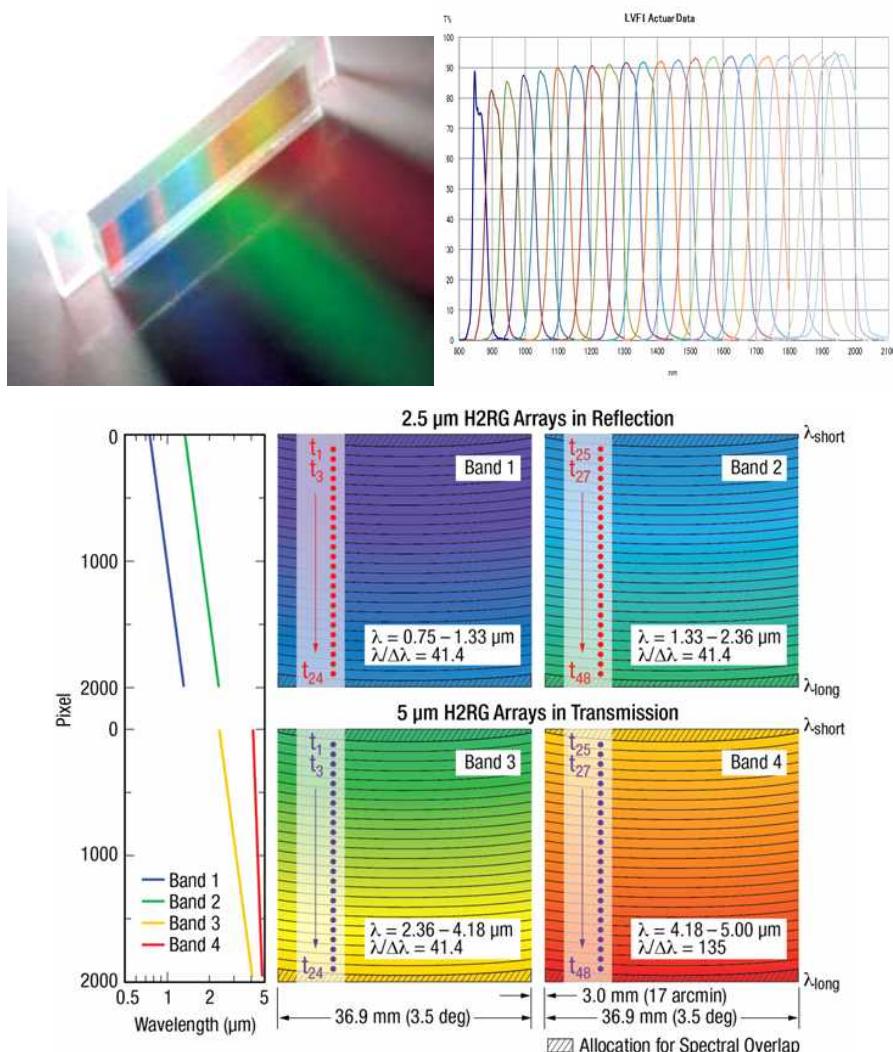
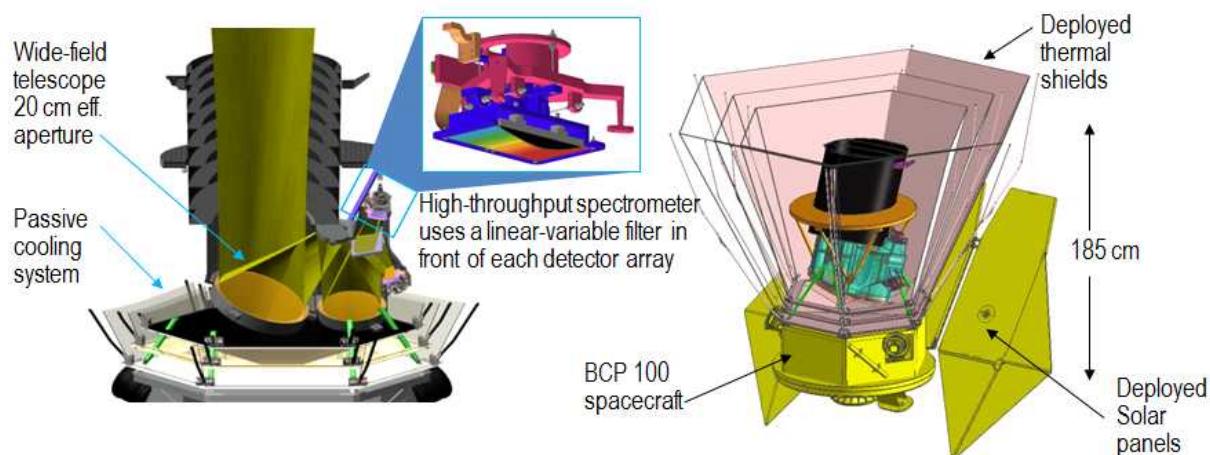


그림 NISS 선형분광필터 (왼쪽 위), 선형분광필터의 투과 자료 (오른쪽 위)와 SPHEREx에서 디자인 중인 4개의 선형분광필터의 밴드 영역과 배치도

주요 과학목적을 달성하기 위해 얻어진 최종 주요 사양은 아래와 같다.

Parameter	Required Value	Capability Value
Telescope aperture	20 cm (effective)	
Focal ratio	3	
Band 1	0.75 - 1.33 μm; $l/D_l = 41.4$; H2RG-2.5 μm	
Band 2	1.33 - 2.36 μm; $l/D_l = 41.4$; H2RG-2.5 μm	
Band 3	2.36 - 4.18 μm; $l/D_l = 41.4$; H2RG-5 μm	
Band 4	4.18 - 5.00 μm; $l/D_l = 135$; H2RG-5 μm	
Total FOV	2 x (3.5 deg x 7 deg)	
Pixel size	6.2" x 6.2"	
Optics temperature	80 K	
5um array temperature	50 K	
Total efficiency	30 %	50 %
Pointing jitter (1s, 200s)	3"	1.5"
Large (70°) slew time	150 s	90 s
Small (10') slew time	20 s	10 s
Read noise CDS	18/15 e-	10.5 e-

SPHEREx (아래 그림 참조)의 기기적인 측면에서의 주요 장점은 매우 간단한 기기면서 상당한 여분을 가지고 설계가 되었다는 점이다. 위성에 실리는 망원경에서 관측기기는 선형분광필터를 사용하여 필터 구동이 필요없이 단일 관측모드로 관측 수행이 가능하다. 또한, 선형분광필터를 통해 확보되는 높은 관측 효율은 전천으로 분광 자료를 얻는 것이 가능해진다. 외부 잡광에 대한 차폐를 위해서는 펼쳐지는 형태의 패널을 채용할 계획이며, 기본 잡광해석을 통해 넓은 시야각에 외부 열잡음을 최소화되는 형태로 디자인 되었다.

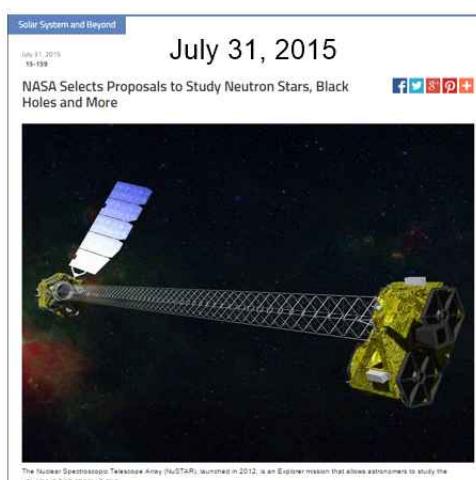
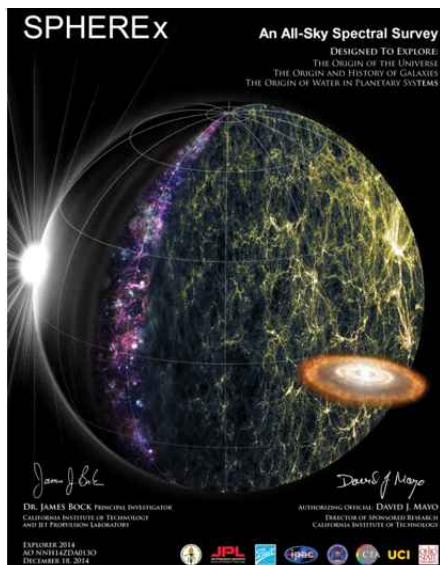


Parameter	Value
Telescope Effective Aperture	20 cm
Pixel Size	6.2" x 6.2"
Field of View	2 x (3.5° x 7.0°); dichroic
Spectrometer	Linear-Variable Filters
Resolving Power and Wavelength Coverage	R=41.5 $\lambda=0.75 - 4.1 \mu\text{m}$ R=150 $\lambda=4.1 - 4.8 \mu\text{m}$
Arrays	2 x Hawaii-2RG 2.5 μm 2 x Hawaii-2RG 5.3 μm
Point Source Sensitivity (MEV Performance)	18.5 AB mag (5σ) with 300% margin to req't
Cooling	All-Passive
2.5 μm Array and Optics Temperature (Req't)	80 K with 700% margin on total heat load
5.3 μm Array Temperature (Req't)	55 K with 450% margin on total heat load
Payload Mass	68.1 kg (CBE+31% Ctg)
Payload Power	27.8 W (CBE+30% Ctg)

Parameter	Performance	Margin
Spacecraft	Ball BCP 100	N/A
Science Data Downlink	73 Gb/day	97%
Pointing Stability	2.1" (1σ) over 200 s	43%
Pointing Control	22.7" (1σ)	164%
Pointing Agility	70° in 116 s (large slews) 8.8' in 6 s (small steps)	29% 233%
Observatory Mass	173.6 kg (MEV)	53%
Observatory Power	171.8 W (MEV)	36%
Solar Array Power Output (EOL)	234 W	N/A

Margins: Mass & Power Thermal Pointing Science

디자인 개념에 대한 상세 사양 정보에서 보듯이, 감도, 쿨링 온도 범위, 자세 정밀도, 망원경 무게, 파워 등에 있어 상당한 마진으로 디자인 되었다. 위와 같은 설계 개념으로 NASA의 SMEX(Small Exploration) 미션에 제안서를 제출하였으며(2014년 12월), 2015년 7월말에 1차 선정 이후, 2016년 8월까지 Phase-A 연구에 대한 수정 제안서를 제출하였다 (아래 그림 참조).



NASA SMEX 미션에 대한 SPHEREx의 제안서(왼쪽)와 1차 선정 결과에 대한 NASA의 보도자료(오른쪽).

제안서(제안서 첫 페이지 그림 참조)에는 주요 기관인 Caltech, JPL, Ball Aerospace과 함께 천문연이 포함되었으며, 과학연구를 위해 미국 대학들과 한국에서는 서울대, 경희대, 경북대, 고등과학원이 포함되어 있다. 한국측의 역할은 현재 개발이 진행 중인 근적외선 영상분광기 NISS 개발을 통해 얻어진 우주핵심기술들을 바탕으로 설정되었고 협의를 통해 아래와 같은 아이템을 기여할 계획이다.

① 적외선 센서 구동 및 센서 선정

앞서 보듯이, SPHEREx는 4개의 적외선 센서가 필요하다. 한국측은 6개의 Teledyne사 H2RG 인 2K x 2K 적외선 센서 및 구동 회로를 구매하여 이중 4개 선정해 공급할 예정이다. 천문연은 NISS 개발을 통해 이미 1K x 1K 적외선 센서인 H1RG에 대한 구동 및 자료 획득을 한 경험이 있으며, H2RG와 이에 대한 구동회로도 지상 고분산 적외선 분광기인 IGRINS를 통해 운영한 경험을 가지고 있다. 암잡음, 노이즈, 픽셀 균일도, 양자효율 등 적외선 센서들의 특성을 테스트하기 위해 IGRINS 챔버를 업그레이드할 계획을 가지고 있다.



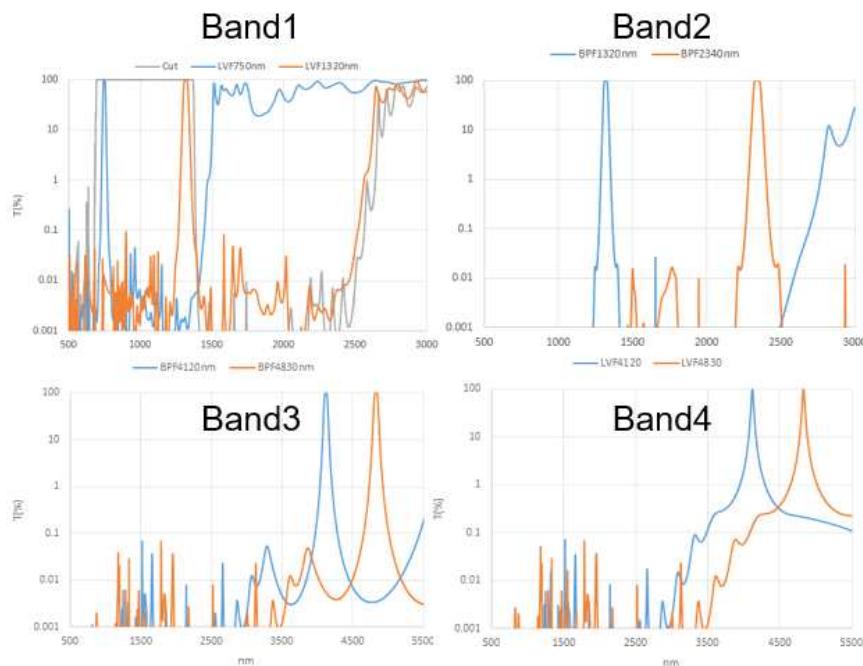
< NISS 적외선 센서 테스트를 위한 소형 듀어와 IGRINS 테스트를 위해 사용한 듀어 >

② 광학계의 일부인 광시야 망원경을 위한 Baffle tube 제작

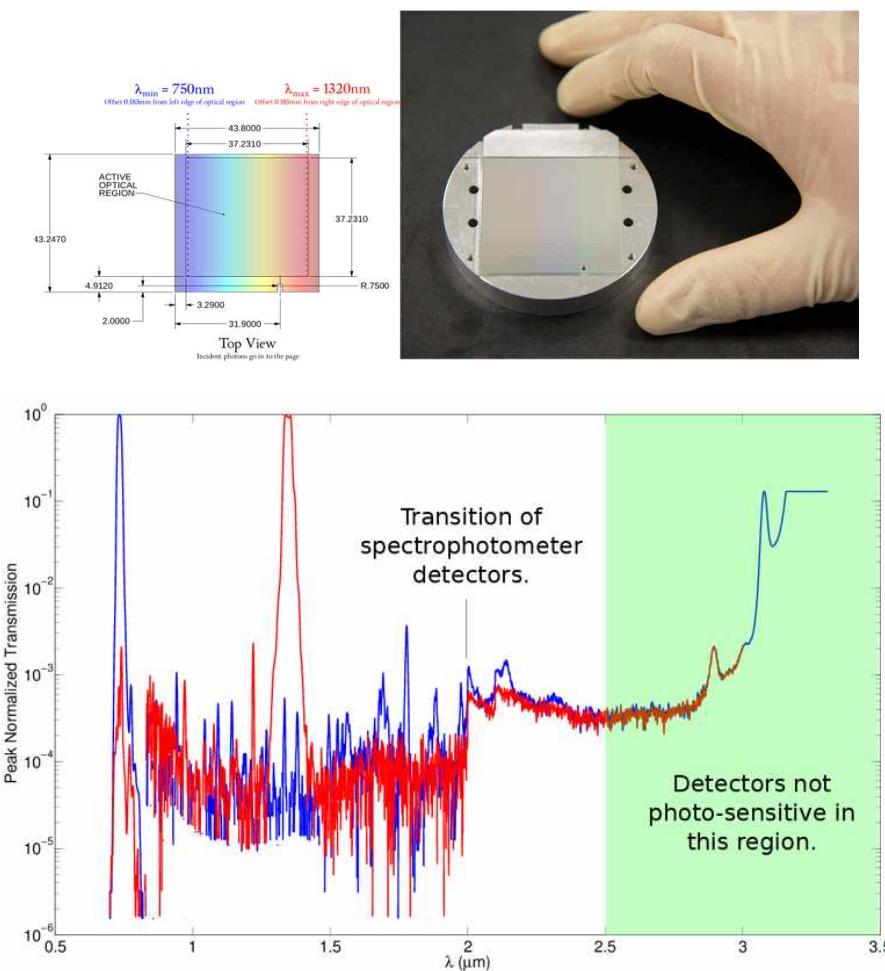
광시야 망원경에 대한 배플을 설계 및 제작하기 위해서는 주변 잡광을 제거하는 분석과 이를 차폐하기 위한 베인(vane) 설계가 중요하다. 천문연은 NISS 개발을 통해 잡광분석 경험을 가지고 있으며, 아래 그림과 같이 잡광 해석 및 이를 차폐하기 위한 보완 설계, 배플에서 잡광을 효과적으로 제거하기 위한 최적의 베인 설계 등을 수행한 경험을 바탕으로 SPHEREx에 대한 잡광 분석을 통해 최적의 배플 튜브에 대한 설계를 수행할 계획이다.

③ 선형분광필터에 대한 요구조건 도출 및 최적 설계

선형분광필터에 대한 제작 경험은 NISS 개발을 통해 얻었으며, 센서면에서의 reflection 회피, 적외선 센서 반응도와 선형분광필터의 일부 파장대에서의 leakage 등을 해결하기 위한 최적 설계를 수행해야 한다. 이러한 경험을 바탕으로 SPHEREx를 위한 4개의 선형분광필터를 공급할 계획이며, 이를 위해 디자인 연구를 수행하고 있다. 초기 디자인으로 센서 및 필터에 대한 반사에 의한 ghost 효과를 최소화하기 위해, cut-off 필터 없이 1장의 선형분광필터로만 디자인 가능한지를 검토하였다. 아래 그림은 초기 디자인 결과를 보여주고 있다. 단파장대 ($0.75\text{--}1.33 \mu\text{m}$)에서는 1장의 선형분광필터로는 구현이 안되긴 하지만 dichroic beam splitter로 장파장의 컷을 고려할 수 있다. 파장에 따른 코팅에 대한 면밀한 분석을 통해 투과율을 높이고 다른 파장대의 혼용을 최소화 하는 것이 실제 개발 단계에서 검토될 예정이다.



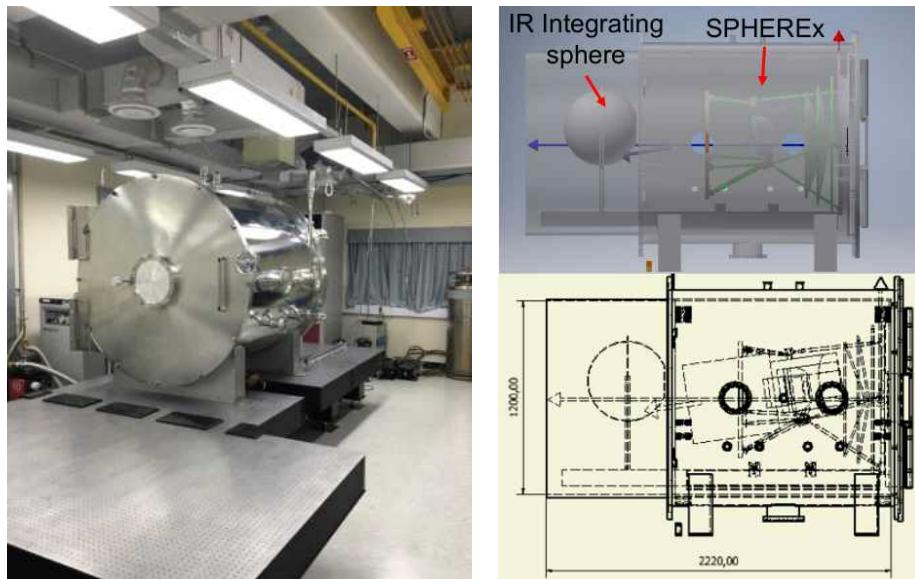
Phase-A 연구를 위해서 Band1에 대한 실제 필터를 제작하고 성능 평가를 위한 실험을 수행하였다 (아래 그림 참조).



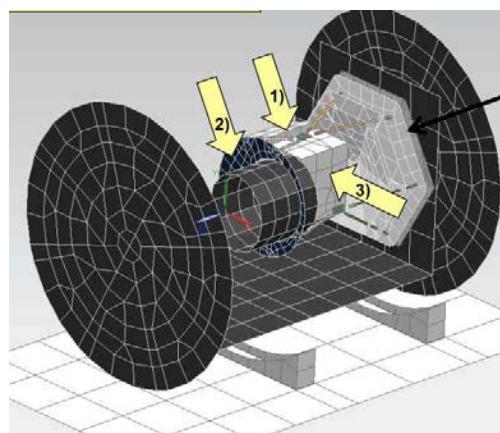
< 실제 제작된 Band1 LVF (위)와 LVF 투과율 (아래) >

④ 관측기기의 검교정을 위한 지상 지원 장비

SPHEREx 관측 기기를 정밀하게 검교정하기 위해서는 전체 장비를 진공챔버에 넣고 시험을 수행해야 한다. 천문연은 MIRIS, NISS 등의 기기를 개발하여 진공챔버를 제작 / 운영해본 경험이 있으며 (아래 좌측 그림), SPHEREx 시험을 위해 열효율이 좋고 크기가 더 큰 챔버로 업그레이드할 예정이다 (아래 우측 그림). 콜리메이션된 빔을 만들기 위한 collimator를 구매하였고, 적외선용 integrating sphere에 대한 제작 검토를 하였다. 아울러 열설계를 통해 적외선 센서 모듈을 55K까지 온도를 낮추어 전체 시스템 검교정이 가능함을 확인하였다 (아래 그림).



< 구축된 NISS 챔버 (왼쪽)과 NISS 챔버를 바탕으로 디자인된 SPHEREx용 챔버 (우) >

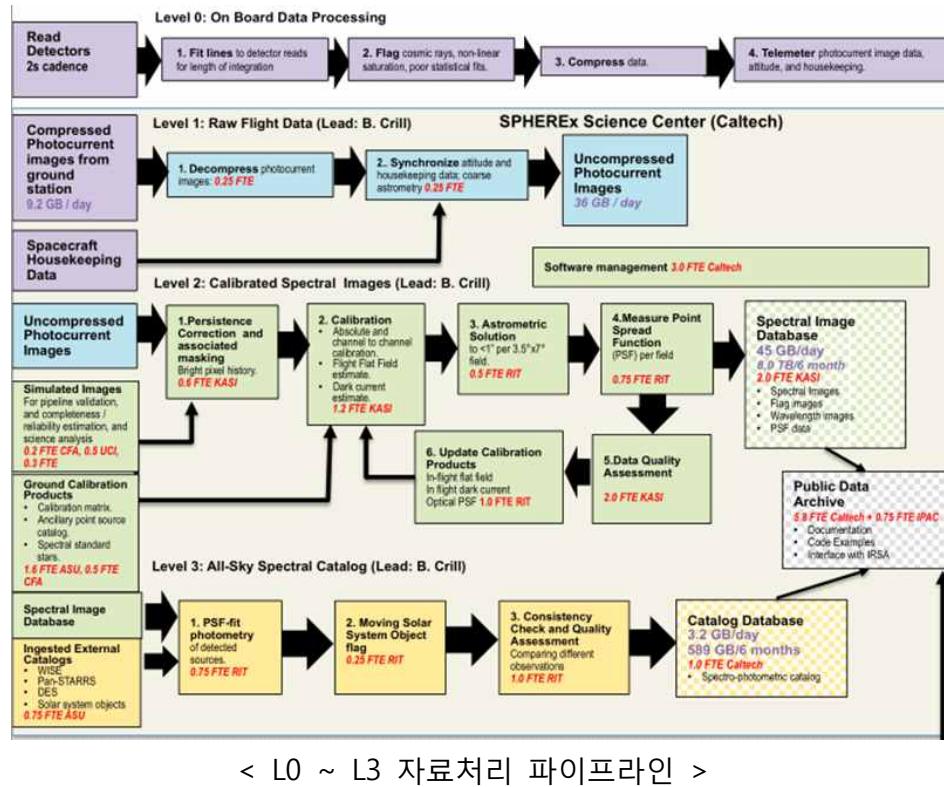


Part	Temp. (K)
FPA Radiator	81.1
FPA module1	80.8
FPA module2	81.5
Sensor module	54.8

< SPHEREx용 챔버에 대한 열설계 (좌)와 해석 결과 (우) >

⑤ MIRIS / NISS 등 적외선 우주관측기기를 개발 경험이 있는 개발인력

앞서 설명되었듯이, SPHEREx는 NISS와 유사한 관측 방법을 도입하여 광학, 광기계, 전자부, 자료처리 등이 모두 연관성을 가지고 있다. 특히 새롭게 도입된 영상분광에 대한 자료 처리파이프라인을 NISS를 통해 구현할 예정이므로, 이러한 자료처리 파이프라인은 일부 과학 목적에 맞게 업데이트되어 SPHEREx로 적용 가능할 것으로 보인다. 한국은 아래 L0 ~ L4에서 L2 ~ L4 중 일부를 담당할 계획이며, 전체 인력의 약 1/5 정도의 역할을 할 예정이다.

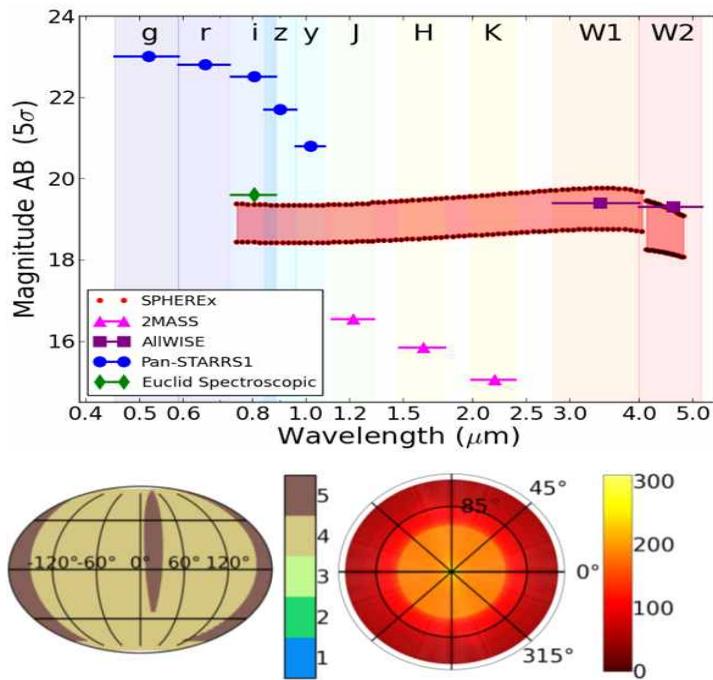


< L0 ~ L3 자료처리 파이프라인 >

⑥ 과학관측 운영 및 과학 연구

주요한 과학관측 이외에 한국측 세부 과학임무를 위한 사전 과학연구를 도출하였다. SPHEREx가 관측을 시작할 시점에는 NISS가 이미 운영되어 과학연구를 수행하고 있을 예정이기 때문에, SPHEREx를 위한 사전 연구를 NISS를 통해 수행 할 수 있다. 아울러, SPHEREx를 통해 발견된 특이 천체들은 지상 대형 관측기기인 GMT를 통해 관측해 이에 대한 시너지도 가능할 예정이다.

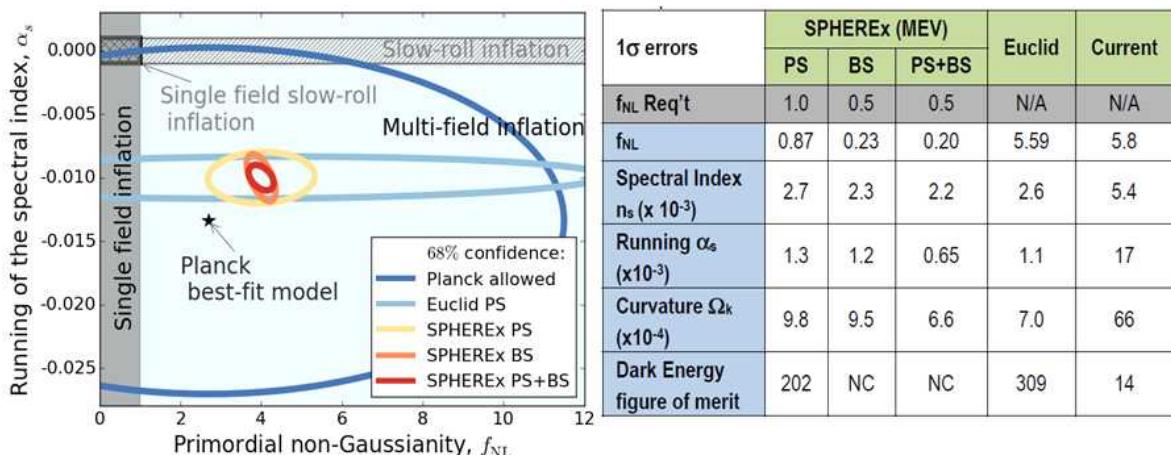
국내에서 관심을 가지는 과학임무에 대한 논의도 수행하였다. 천문연 내에서도 우주론과 외부은하 연구원들이 있기 때문에, 한국에서 가능한 많은 부분의 사이언스 주제를 발굴하는 것도 중요하다. SPHEREx는 전천 관측을 통해 평균적으로 아래와 같은 감도를 가질 것으로 예측된다. 아래 관측빈도 그림에서와 같이, 운영 궤도상 관측빈도 높은 100평방도 정도의 극지역은 감도는 30배 정도 더 높을 것으로 기대하고 있다. 참고로 NISS는 18 AB mag. 정도의 감도를 가질 것으로 예측된다.



< 전천 (좌)과 극지점(우)에 대한 관측 빈도수 >

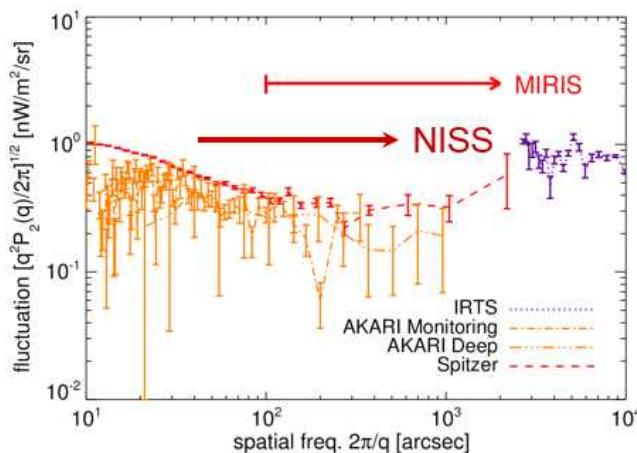
SPHEREx로부터 전천분광 탐사를 수행하게 되면, 14억개에 달하는 은하들에 대한 분광 정보를 획득할 예정이다. 퀘이사, 은하단, 주계열 별들, 더스트 형성 별들, 갈색왜성, 뜨거운 더스트를 가진 별들, 성간물질 등 수많은 타입의 소스들에 대한 분광 목록들이 만들어지기 때문에, 다양한 사이언스가 가능할 것으로 예상된다.

우주초기 인플레이션과 관련된 관측 가능한 부분 중의 하나가 전체 큰 규모에 대한 비가우시안 분포이다. 이는 단일 혹은 다중 필드로 구현되는 인플레이션 필드에 민감하다. 큰 규모의 탐사를 통해 얻을 수 있는 값이기도 하다. 아래 그림은 SPHEREx가 인플레이션의 비가우시안 분포를 검증할 수 있는 정확도를 보여주고 있다. 다른 암흑에너지 미션들과 비교하여 비교적 정확한 측정을 할 수 있음을 알 수 있다. 파워 스펙트럼(PS)과 바이 스펙트럼(BS)을 모두 적용하면 정확도가 더 높아지게 됨을 알 수 있다.



적외선 우주배경복사는 AKARI 적외선 우주망원경, 소형 적외선우주망원경인 MIRIS나 NISS를 통해 지속적인 연구를 해온 분야중의 하나이다. 기존에 많은 관측이 실제 이론적인 값과 관측된 값이 차이를 보이기 때문에 적외선 우주배경복사의 기원을 밝히는 연구가 진행되고 있지만, 아직까지 그 정확한 기원에 대해서는 밝혀지지 않았다 (아래 절대값 측정 그림 참조). 적외선 우주배경복사는 우주 초기에서 오는 성분과 은하가 생성되고 진화되는 시점에서 오는 두 가지 요인으로 압축되고 있다. 특히 재이온화 시기가 언제 시작되었으며, 언제 끝났으며, 초기 별이나 은하들이 어떻게 생기고 분포하게 되었는지는 중요한 문제들 중의 하나이다. 이에 대한 관측적인 값으로는 중성가스의 형태인 HI 21cm, 라이먼 흡수선 등과 은하들에서 나오는 별빛, 분광 방출선 등이 있을 수 있다.

국내 연구진의 큰 규모의 적외선 우주배경복사 요동에 대한 연구는 이미 AKARI를 통해 결과를 얻었고, 현재 MIRIS를 통해 더 큰 규모의 요동에 대한 연구가 진행 중이다. MIRIS로부터의 적외선 우주배경복사 연구를 위해 얻은 관측 영역이 100평방도 이기 때문에, 황도북극을 SPHEREx에서 관측하게 된다면 적외선 우주배경복사를 각 파장에 따라 그 요동 구조가 어떻게 변화되는지를 관측하게 될 것이다 (아래 그림 참조). 실제로 현재 SPHEREx 팀에서는 관측 빈도가 높은 지역을 황도북극이나 황도남극으로 운영 될 수 있는지를 검토 중에 있다. 특히, 황도북극지역은 AKARI에서 관측되었을 뿐만이 아니라, 유럽에서 개발 중인 Euclid로도 관측이 될 예정이라 과학적인 성과 측면에서 유리할 것으로 기대하고 있다.

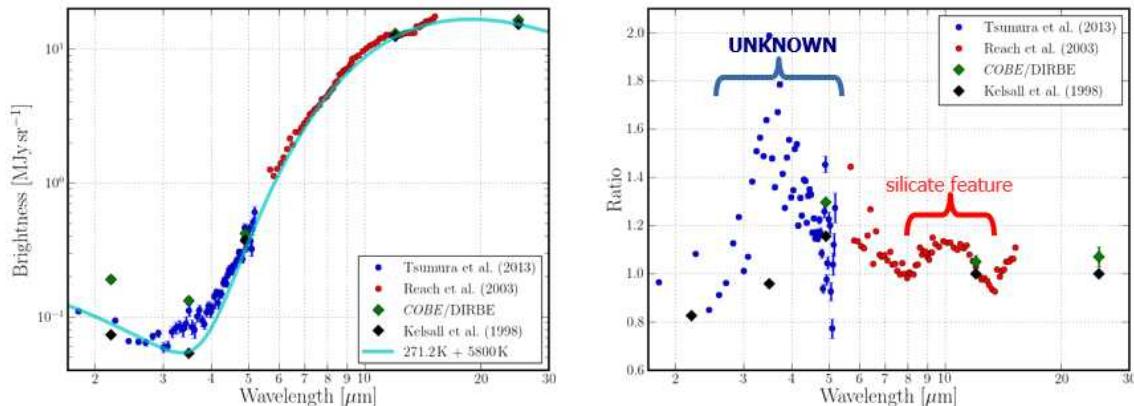


<적외선 우주배경복사 요동에 대한 기존 관측
결과와 진행 중인 프로젝트의 기여도>

우리 은하내에 있는 아이스를 관측하는 것은 원시성에서부터 행성상 디스크에 이르기 까지 다양한 별생성 단계를 확인할 수 있을 것이다. 최근 관측 결과에 따르면, 물분자들이 디스크 면에서는 아이스 형태로 존재할 수 있다고 주장하고 있다. $2.5 \sim 5 \mu\text{m}$ 에서 분포하는 주요한 아이스 분광선들인 H₂O, CO, CO₂ 등이 이러한 매커니즘을 밝힐 있을 것으로 기대하고 있다. 한국에서도 기존 AKARI 관측 자료를 바탕으로 이러한 사이언스 결과를 도출할 계획이며, 모델링을 통해 SPHEREx 실제 관측에 적용할 계획을 가지고 있다.

황도광은 중적외선에서 강한 산란광과 방출선을 보이고 있고, 각 파트는 흑체복사로 모델링이 가능하다. 이러한 모델링으로 최근 관측 결과를 분석해 보면, 두 개의 특색이 보이며 그중 $10 \mu\text{m}$ 근처는 silicate에 의한 것임을 이전 연구 결과에서 확인하였다 (아래 그림 참조). 3 ~ 4

μm 에서의 방출선과 유사한 특색은 은위에는 무관하고 황위에 의존하는 양상을 보이므로, 우리 태양계와 관련이 있다고 여겨지고 있다. SPHEREx에서의 전천 탐사는 황도광에 대한 모델링을 더욱 정밀하게 할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

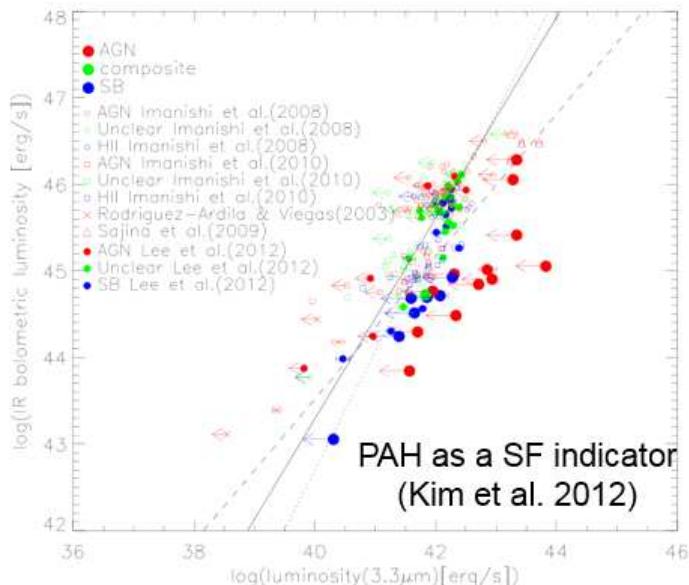


<황도광 관측결과에 대한 모델링(왼쪽)과 그 차이 성분에 대한 특징들(오른쪽)>

또한, 태양계 천체 중에 천문연이 운영 중인 KMTNet으로 소행성과 같은 소천체에 대한 연구가 진행 중에 있다. SPHEREx는 전천 탐사를 수행하기 때문에 이러한 소천체도 관측이 될 것으로 예상되며, 기존 가시광 관측 정보에 적외선 분광 정보를 추가해 줄 것으로 기대된다. 적외선 분광 정보는 각 소천체에 대한 물리적인 특징들을 밝히는데 기여할 것으로 예상된다.

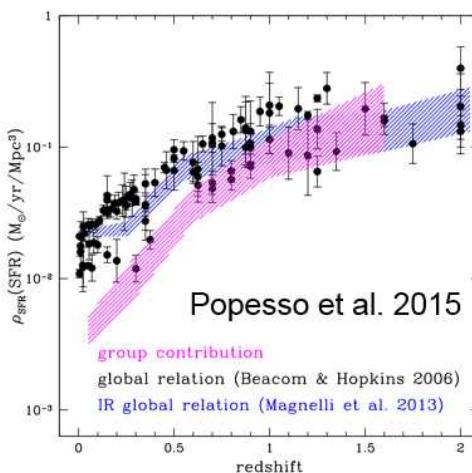
외부은하 측면에서는 기존 연구가 되어온 적외선 우주배경복사 이외에 다음과 같은 주제들을 한국측에서 리드하려고 한다.

NISS를 통해서도 연구 중인 가까운 은하들에 대한 별생성의 특징들을 밝힐 수 있을 것으로 기대하고 있다. 근적외선에서 사용할 수 있는 성간 소광에 덜 민감한 별생성 인자인 $\text{Pa}\alpha$, $\text{Br}\gamma$, PAH (아래 연구 결과 참조)와 같은 분광선들을 이용해 연구를 수행할 계획이다. SPHEREx는 NISS보다 분광 분해능이 높고, 전천 탐사로 수많은 은하 샘플을 확보할 수 있기 때문에, 기존 WISE, Herschel 관측 결과와 체계적인 비교가 가능할 것으로 보인다.



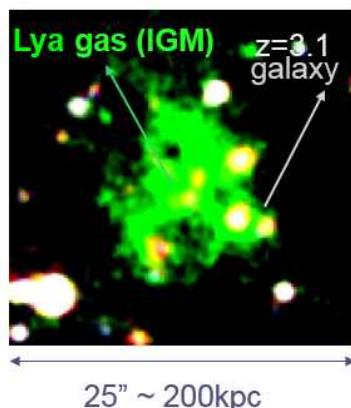
높은 관측 빈도 영역에 있는 가까운 밝은 AGN에 대해서는 KMTNet, GEMINI, LSST 등의 관측결과와 함께 시간에 따른 밝기 변화를 보는 reverberation mapping 연구가 가능할 것으로 보인다. 이로부터 내부 블랙홀의 질량, 토러스 구조 등에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상된다. 아울러 전천의 특성상, 여러 라인들로부터 고적색이동 QSO에 대한 탐색이 가능하다. 먼 QSO에 대한 광도함수, 적색이동 2.5나 5.5 근처의 적색이동에서 적은 분포와 블랙홀 질량, 응착율, 금속함량 등과 같은 고적색이동 QSO의 특징들을 연구하는 것이 가능할 예정이다.

은하단에서는 고적색이동 은하단에서의 은하 진화를 파악할 수 있을 것으로 기대하고 있다. [OII] 분광선 등을 이용하여 먼 은하단에서의 별생성 활동을 확인하여 은하단 환경에서 별생성 역사를 확인할 수 있다 (아래 그림 참조).



<그룹 은하 종족에 따른 별생성 밀도에의 기여도 (Popesso et al. 2015)>

특정 분광 라인들에서 밝은 은하들의 특징은 은하 진화와 주변 환경을 이해하는데 도움이 된다. 아래 그림은 상당히 넓은 2억 광년 크기로 퍼져 있는 Ly α 가스덩어리가 있는 Ly α Blob이라는 천체를 보여주고 있다. 고적색이동에서 발견되고 있으며, 은하들의 밀도가 더 높은 것으로 관측이 되고 있어, 초기 은하의 진화와 환경을 이해하는데 도움이 된다. SPHEREx의 높은 빈도 관측 데이터에서 얻을 수 있는 감도는 라인 맵핑 기능은 각 라인별로 특정하게 밝은 지역을 추적하는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.



<높은 적색이동을 갖는 (z~3.1) Lyman- α blob>

제 4 절 달탐사용 적외선 분광기 개발 및 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개발

1. 적외선 분광기 사양정립

가. 요구사항분석

(1) 파장: 2.0~4.0 micron

- (가) 달표면에 존재하는 수산화기 또는 존재할 가능성이 있는 물탐사가 목적
- (나) 중적외선 영역에 존재하는 물 분광선

Wavelength	cm^{-1}	Assignment	Wavelength ^{**}	cm^{-1}	Assignment
0.2 mm	50	hydrogen bond bend	1200 nm	8330	$a\text{v}_1 + \text{v}_2 + b\text{v}_3; a+b=2$
55 μm	183.4	hydrogen bond stretch	970 nm	10310	$a\text{v}_1 + b\text{v}_3; a+b=3$
25 μm	395.5	L_1 , librations	836 nm	11960	$a\text{v}_1 + \text{v}_2 + b\text{v}_3; a+b=3$
15 μm	686.3	L_2 , librations	739 nm	13530	$a\text{v}_1 + b\text{v}_3; a+b=4$
6.08 μm	1645	v_2 , bend	660 nm	15150	$a\text{v}_1 + \text{v}_2 + b\text{v}_3; a+b=4$
4.65 μm	2150	$\text{v}_2 + \text{L}_2$ ^b	606 nm	16500	$a\text{v}_1 + b\text{v}_3; a+b=5$ [526]
3.05 μm	3277	v_1 , symmetric stretch	514 nm	19460	$a\text{v}_1 + b\text{v}_3; a+b=6$ [526]
2.87 μm	3490	v_3 , asymmetric stretch	449 nm	22270	$a\text{v}_1 + b\text{v}_3; a+b=7$ [1937]
1900 nm	5260	$a\text{v}_1 + \text{v}_2 + b\text{v}_3; a+b=1$	401 nm	24940	$a\text{v}_1 + b\text{v}_3; a+b=8$ [1937]
1470 nm	6800	$a\text{v}_1 + b\text{v}_3; a+b=2$			Note that a and b are integers, ≥ 0 .

* Raman peaks are given in [805].

**Wavelength (nm) = $10^7 / \text{wavenumber } (\text{cm}^{-1})$ (nm ~3.3 attosecond); 1 $\text{cm}^{-1} \sim 0.03 \text{ THz}$

<적외선 영역에서 나타나는 액체 상태의 물 분광선

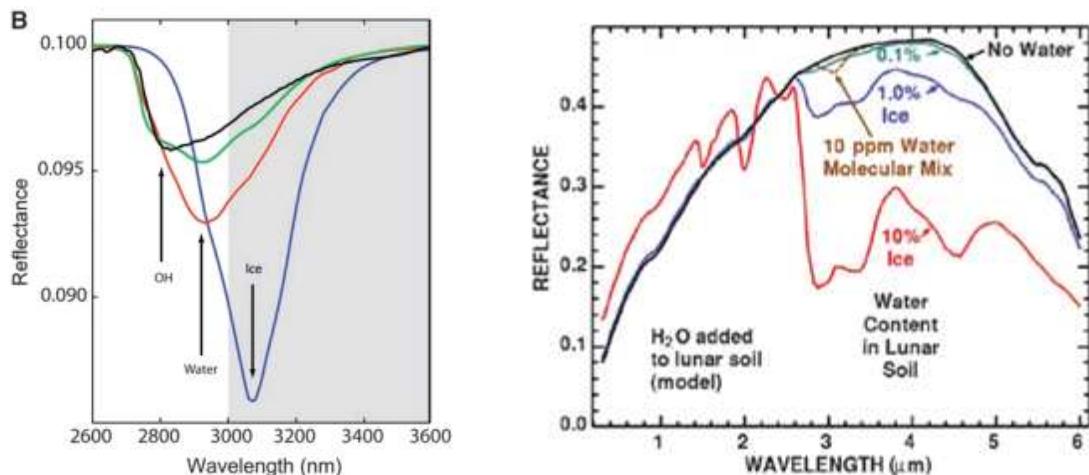
http://www1.lsbu.ac.uk/php-cgiwrap/water/pfp.php3?page=http://www.lsbu.ac.uk/water/water_vibrational_spectrum.html

(다) 최근 우주탐사선의 탐재체에 의해서 달 표면의 수산화기/물 검출

	VIMS-IR on Cassini	M3 on Chandrayaan-1	HRI-IR on Deep Impact	SIR on SMART-1
Spectral range	0.85~5.1 mm in 256 band	0.4 ~ 3.0 mm	0.15 ~ 4.8 mm	0.94 ~ 2.4 mm with 256 channels
Spectral resolution	16.6nm (spectral sampling)	10nm spectral sampling	R~216 (13.5nm 2.926mm)	6 nm
Spatial resolution		0.7 mrad (70m sampling)	36 mm (pixel size)	50 × 250 mm (pixel size)

<달에서 수산화기/물을 검출한 과학탐재체>

(라) 달에 존재하는 얼음형태의 물을 가정한 분광선



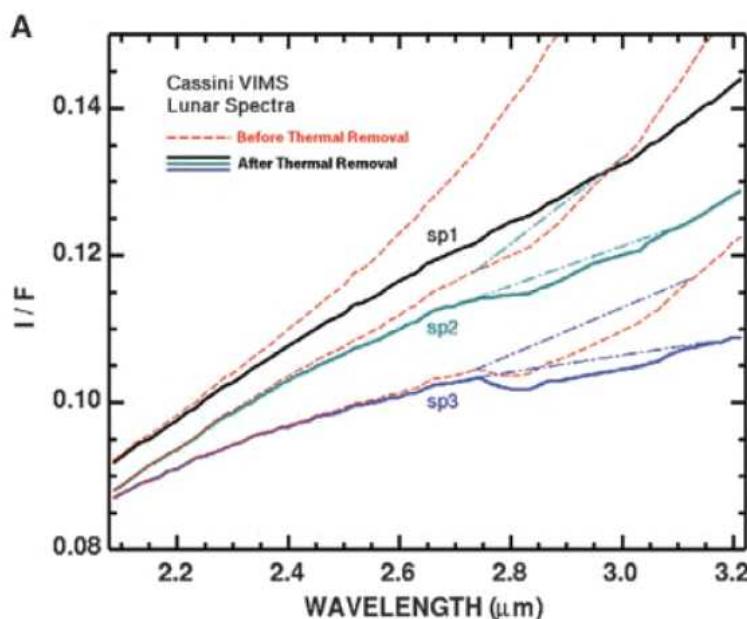
<Model near-IR reflectance spectra of H₂O and OH, Pieters et al. 2009, Science>

<아폴로 탐사선이 채취한 달표토에 얼음물을 첨가하여 계산한 반사율 Clark et al. Science, 2009>

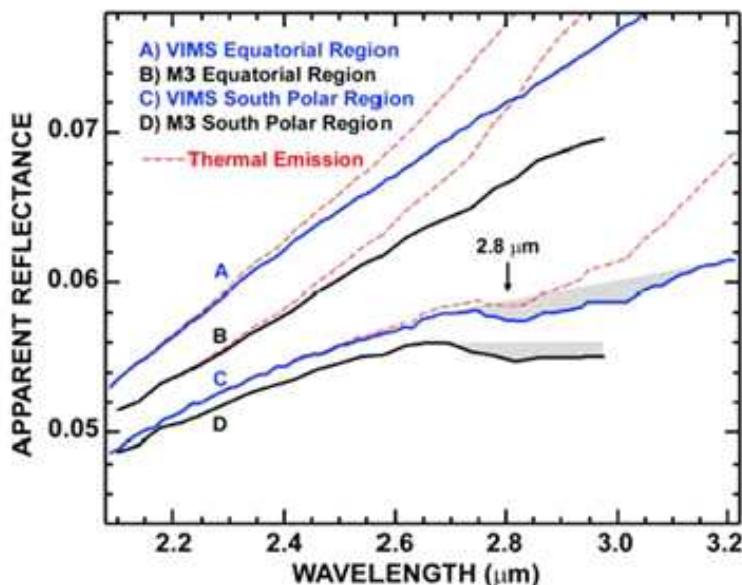
(2) Spectral resolution: 30nm/10nm(2.6~3.6 micron)

(가) 2.8micron의 수산화기를 검출하기 위해 필요한 분해능: >R~100

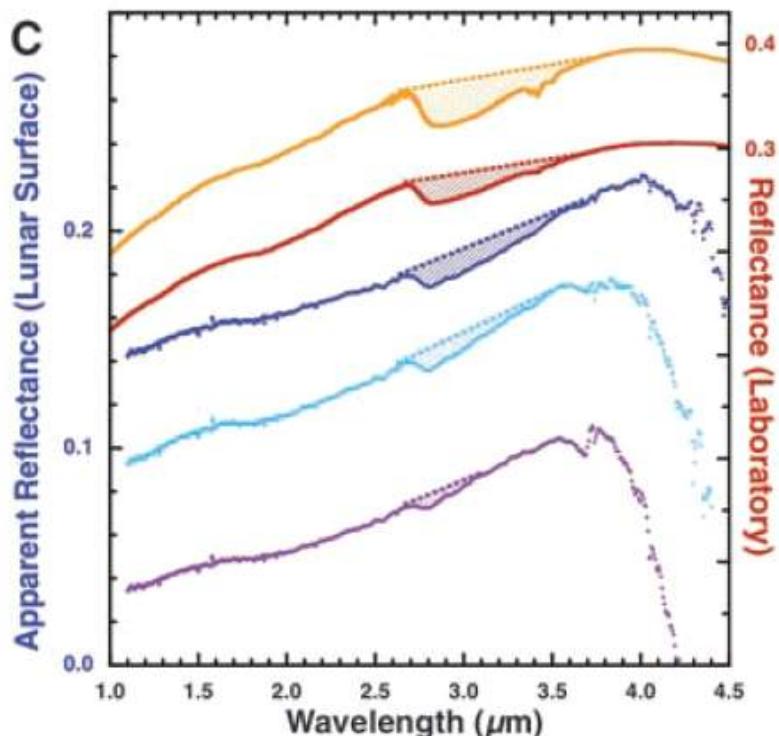
(나) 3.1micron에 존재하는 얼음형태의 물을 검출하기 위해 필요한 분해능: >R~100



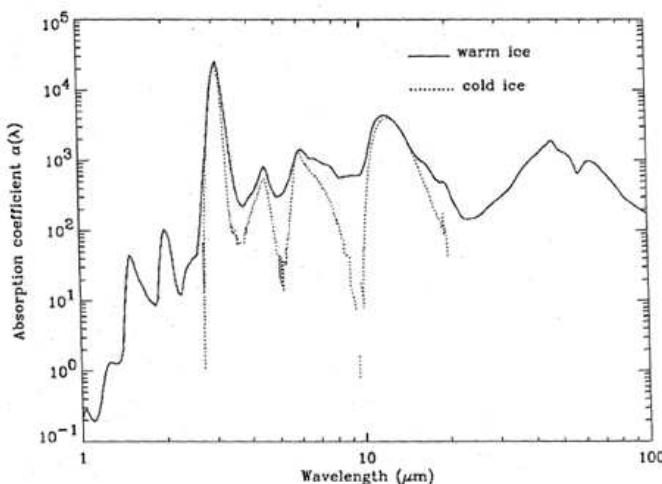
<Cassini/VIMS의 관측한 2.81 micron OH 분광선 (Clark, Science 2009)>



<Chandrayaan-1/M3가 관측한 OH자료(Pieter et al.,
Science, 2010)>

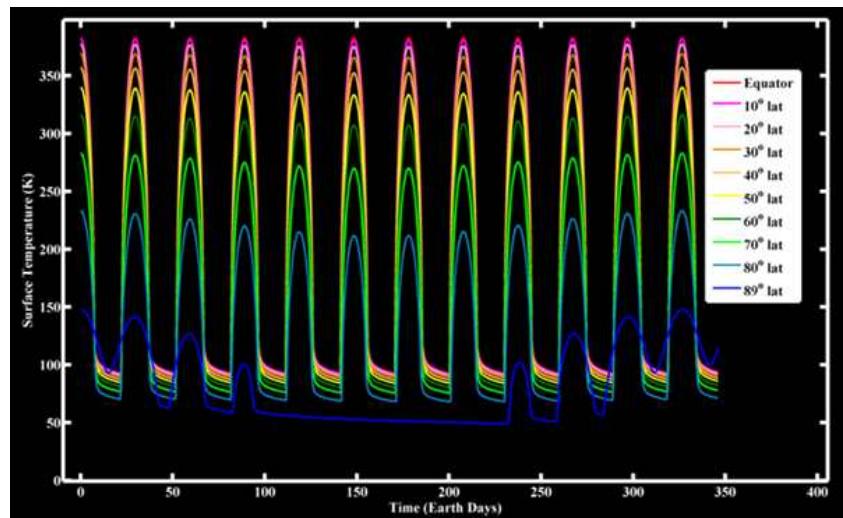


<Deep Impact/HRI-IR에 획득된 OH 분광선 (Sunshine et al.,
Science, 2009)>



<250K와 80K에서의 얼음형태 물의 흡수계수 (Lynch, 2005)>

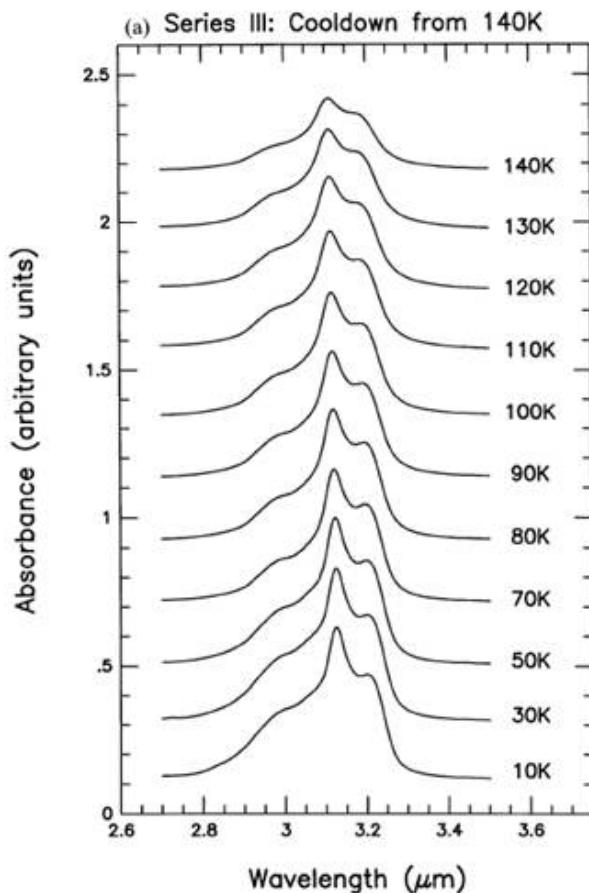
- 140K이하가 되면 3.1micron 근처에서의 얼음형태의 물은 3.2micron에서도 검출
- 3.1micron 근처의 얼음형태 물을 검출하기 위한 분해능: >R~150
- 달의 극지방은 최저 98K 까지 도달



<Diviner에 의한 달의 온도 자료
<http://diviner.ucla.edu/science.shtml>>

Equator Average Temperature (K)	~206K (390K at noon; ~95 K at midnight)
Polar Average Temperature (K)	~98K (outside of shadow)
Minimum temperature (K)	~25K (Hermite Crater)
Maximum Temperature (K)	~410K (small equatorial craters)

<Diviner에 의해 획득된 달의 표면온도
<http://diviner.ucla.edu/science.shtml>>



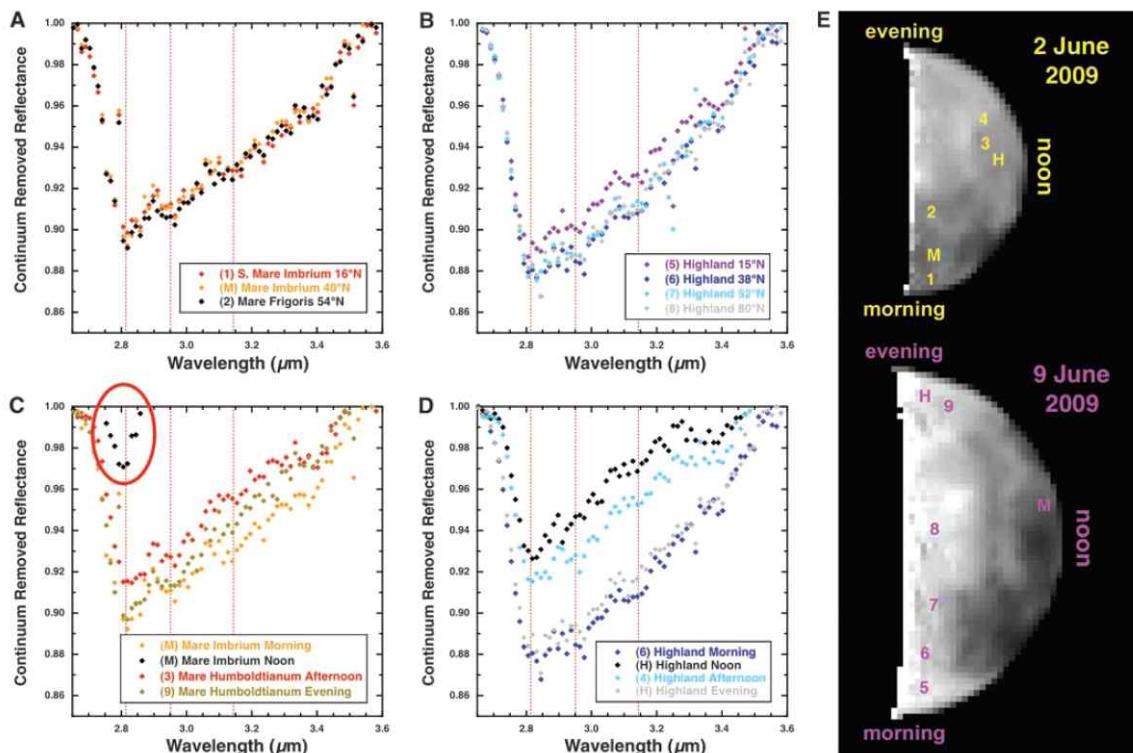
<Water ice absorbance (Maldoni et al. (Mon. Not. R. Astron. Soc., 1998)>

(3) Signal to Noise Ratio

- (가) 1% 얼음형태 물이 존재했을 때 검출가능한 감도: >10
- (나) 신호대 잡음비와 얼음형태 물 흡수선의 깊이를 이용하여 계산

(4) Swath width

- (가) 적도 지방을 기준: >35km
 - 수산화기/물 지도 작성
 - 터미네이터 지역에서 수산화기의 변화 관측
 - 터미네이터 지역에서 수산화기/얼음형태의 물 검출
- (나) 고위도로 갈수록 <35km
 - 태양빛의 양이 적은 지역에 존재할 가능성이 높은 얼음형태의 물 검출을 위해 광량확보



<동일 지역에서 시간에 따른 OH 분광선의 깊이 차이 (Sunshine et al., Science, 2009)>

나. 임무시나리오

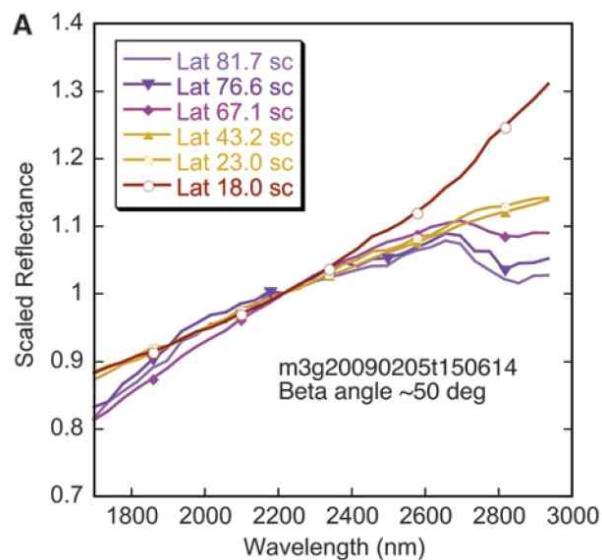
(1) 광량 확보 및 swath width 요구 조건을 만족시키기 위해 위성을 기울여서 관측

(가) 위도별 위성 각도와 swath width

- 수산화기의 양이 많아지는 위도 76.6도에서 90도
 - 위도 76.6도에서 위성 1회 공전시 위성은 약 8km 정도 경도 이동
 - 동일 지역에 대한 시간차 관측을 위해 swath width는 17km로 결정

위도	위성의 기울어진 각도	swath width	FOV
90 ~ 76.6	0도	17km	9.6도
76.6 ~ 0	위도 1도당 0.6도씩 증가		
0	47도	35km	

- 위도 76.6도에서 적도: 위도 1도 줄어들때마다 위성을 0.6도씩 기울임 (이에 따라 swath width 증가)
- 위도 0도: 35km swath width 확보를 위해 위성을 47도 기울임
(적도를 기준으로 위성 1회 공전시 위성은 약 35km 경도 이동)



<M3 data (Pieters et al. 2009, Science)>

(2) 광학설계를 통하여 요구조건을 만족하는 최적 사양 도출

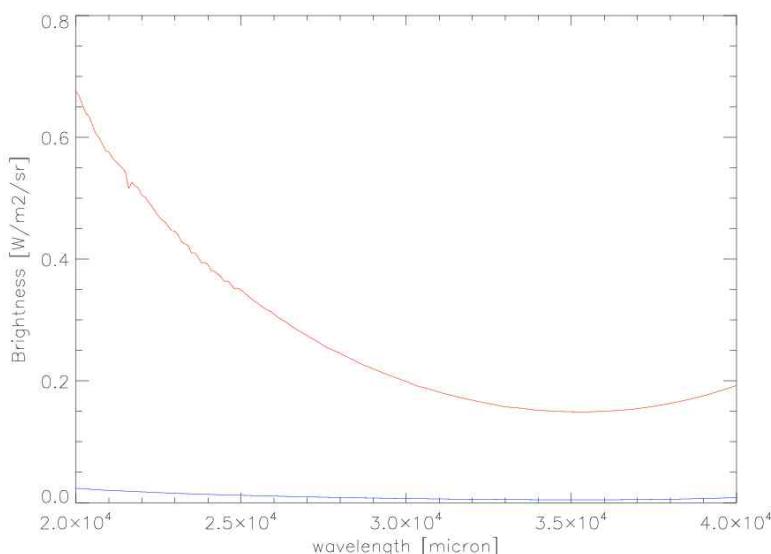
- Swath width 24km, FOV 13.8도

다. 과학요구사항 분석

(1) 광량분석

(가) 표면에서의 밝기

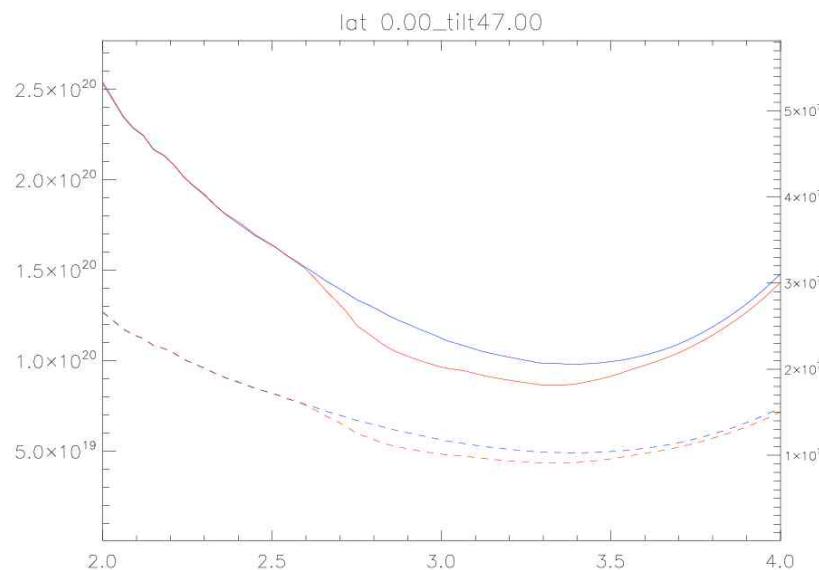
- 달 표면 밝기=solar flux*reflectance+thermal로 계산된 값
 - solar flux: SOHO 자료 이용
 - reflectance: 달 표토 샘플을 이용하여 획득한 자료(Clark et al.(2009))
 - thermal: Clark et al.(2011) 논문을 참고로 계산
- 광량이 최대인 위도 0도와 광량이 최소인 위도 89에 대한 값



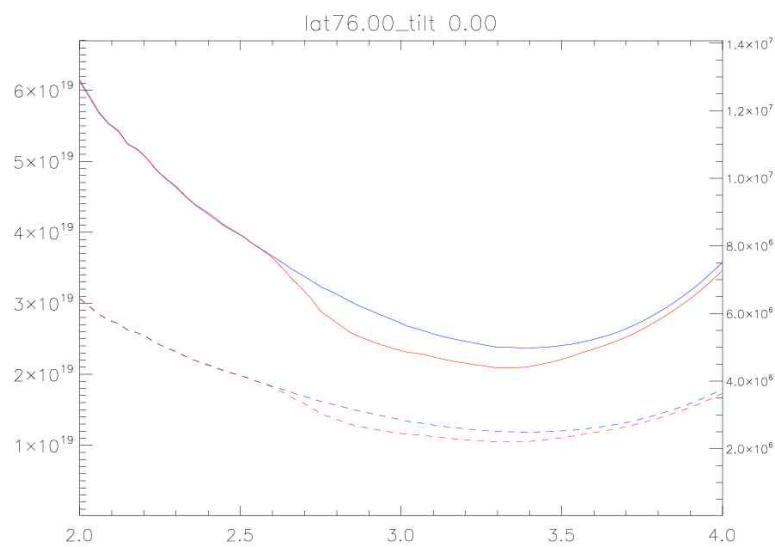
<표면에서의 달의 밝기 계산>

(나) 임무시나리오를 고려한 광량

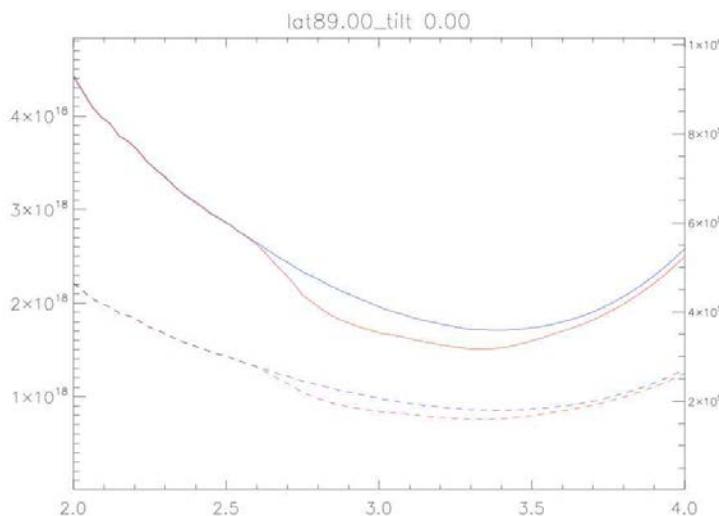
- 달 표면 밝기 계산에서 reflectance를 0%와 1% 얼음상태의 물이 있다고 가정
- 각각의 위도에서 위성이 기울어진 상황 고려
 - 위성 기울기에 따른 달 표면과의 거리, 달 표면의 flux감소, swath width 증가에 따른 flux 증가 고려
- 광학계 및 센서 특성 고려
 - dark noise, readout noise, QE
 - 구경
 - 분광분해능



<실선은 달 표면에서 나오는 광자수, 점선은 임무시나리오를 고려한 광자수.(왼쪽 y축 참고) 파란색은 얼음형태의 물이 전혀 없다고 가정했을 때, 빨간색은 1%의 얼음 상태의 물이 존재 가정(오른쪽 y축 참고) (Clark et al. 2009 참고). (위도0, 위성이 47도 기울어졌을 때)>



<실선은 달 표면에서 나오는 광자수, 점선은 임무시나리오를 고려한 광자수.(왼쪽 y축 참고) 파란색은 얼음형태의 물이 전혀 없다고 가정했을 때, 빨간색은 1%의 얼음 상태의 물이 존재 가정(오른쪽 y축 참고) (Clark et al. 2009 참고). (위도 76, 위성은 천정방향)>



<실선은 달 표면에서 나오는 광자수, 점선은 임무시나리오를 고려한 광자수.(왼쪽 y축 참고) 파란색은 얼음형태의 물이 전혀 없다고 가정했을 때, 빨간색은 1%의 얼음 상태의 물이 존재 가정(오른쪽 y축 참고) (Clark et al. 2009 참고). (위도 89, 위성은 천정방향)>

(2) 신호대 잡음비를 이용한 관측 가능 여부

(가) 위도 76도에서 얼음형태의 물 흡수선 관측 가능성

- Noise와 1% 얼음형태의 물 흡수선의 깊이 비교: >10 값을 가지며 검출 가능

wavelength	SNR	error and depth ratio
2.6	972.151	5.7855
2.63	941.719	19.60848
2.66	907.336	35.72178
2.69	876.841	50.93319
2.72	843.957	68.10571
2.75	801.766	94.45965
2.78	779.367	104.32823
2.81	755.749	113.40089
2.84	733.173	119.75607
2.87	717.687	119.62639
2.9	705.257	119.13438
2.93	692.953	117.11081
2.96	682.533	114.4314
2.99	672.619	110.62539
3.02	664.291	103.41559
3.05	660.905	96.96711
3.08	654.257	93.1366
3.11	645.361	91.68804
3.14	638.302	90.39352
3.17	632.04	89.10101
3.2	626.413	87.77253
3.23	621.214	86.35498
3.26	616.546	84.86729
3.29	611.528	83.25117
3.32	611.51	82.51768
3.35	611.071	81.22032
3.38	611.852	77.84129
3.41	616.772	72.99305
3.44	623.755	67.14317
3.47	631.162	61.28802
3.5	639.915	55.64302
3.53	650.213	49.01699
3.56	661.849	42.62982
3.59	672.236	39.58368

<위도 76도에서 신호대 잡음비와 관측가능성
여부>

- 위도 89도에서 얼음형태의 물 흡수선 관측 가능성
 - Noise와 1% 얼음형태의 물 흡수선의 깊이 비교: >1 값을 가짐
 - 76도 이상의 위도에서는 위성 1회 공전시 약 8km에 대한 지역이 중복 관측
 - noise와 1% 얼음형태의 물 흡수선의 깊이를 >10 유지를 위해 3회 관측 자료 누적

wavelength	SNR	error and depth ratio
2.6	94.4078	0.56222
2.63	91.0598	1.90043
2.66	87.3008	3.45182
2.69	83.9882	4.90915
2.72	80.4389	6.5468
2.75	75.9205	9.05379
2.78	73.5382	9.97904
2.81	71.039	0.82126
2.84	68.6622	1.39827
2.87	67.0388	1.35888
2.9	65.74	1.28979
2.93	64.458	1.07378
2.96	63.3753	0.79877
2.99	62.3475	0.41775
3.02	61.4861	9.71602
3.05	61.1364	9.09693
3.08	60.4506	8.72337
3.11	59.5345	8.57335
3.14	58.8091	8.44086
3.17	58.1667	8.30993
3.2	57.5902	8.17672
3.23	57.0583	8.03592
3.26	56.5814	7.88951
3.29	56.0692	7.73081
3.32	56.0674	7.66183
3.35	56.0226	7.53934
3.38	56.1023	7.223
3.41	56.6044	6.77395
3.44	57.3182	6.23311
3.47	58.0767	5.69184
3.5	58.9748	5.17102
3.53	60.0339	4.55881
3.56	61.2338	3.96892
3.59	62.3079	3.69017
3.62	63.3961	3.48798

<위도 89도에서 신호대잡음비와 관측가능성 여부>

2. 적외선 분광기 개념설계

가. 광학계 요구사항

(1) 궤도선 정보

- 적외선 분광기가 탑재될 궤도선의 정보
- 1차 광학계 사양을 결정하는데 중요한 정보

궤도선 정보	사양	비고
고도 (altitude)	100 km	
접선 속도 (tangential velocity)	1.6 km/s	
시선방향 에러 (bore-sight error)	- arcsec	TBD

(2) 파장대역 (wavelength coverage)

- OH($2.8 \mu\text{m}$), H₂O($3.1 \mu\text{m}$)의 흡수선을 포함
- 개념설계시의 목표값은 $2\text{-}4 \mu\text{m}$
- $2 \mu\text{m}$ 과 $4 \mu\text{m}$ 까지 파장대역을 확장하는 것은 continuum level을 산출 목적

(3) 공간분해능

- 적외선 분광기에서 공간 분해능은 공간방향(슬릿의 길이방향)으로의 분해능을 의미
- 공간분해능의 목표: 35m/pixel
- 회절한계를 고려하였을 때, 이 목표를 달성하기 위해서는 광학계의 동공직경(entrance pupil diameter)이 7mm 이상

(4) Swath distance

- nadir방향으로 관측을 수행하였을 때, swath distance의 목표값은 24km , 최소한 달성하여야 할 값은 20km

(5) 시야각 (field of view in spatial direction, FoV)

- nadir방향으로 관측을 수행하였을 때, FoV의 목표값은 약 13.8 deg , 최소한 달성하여야 할 값은 약 11.5 deg

(6) 분광분해능 (spectral resolution)

- OH($2.8 \mu\text{m}$), H₂O($3.1 \mu\text{m}$)의 흡수선을 분해하기 위하여 제시한 분광분해능 수치

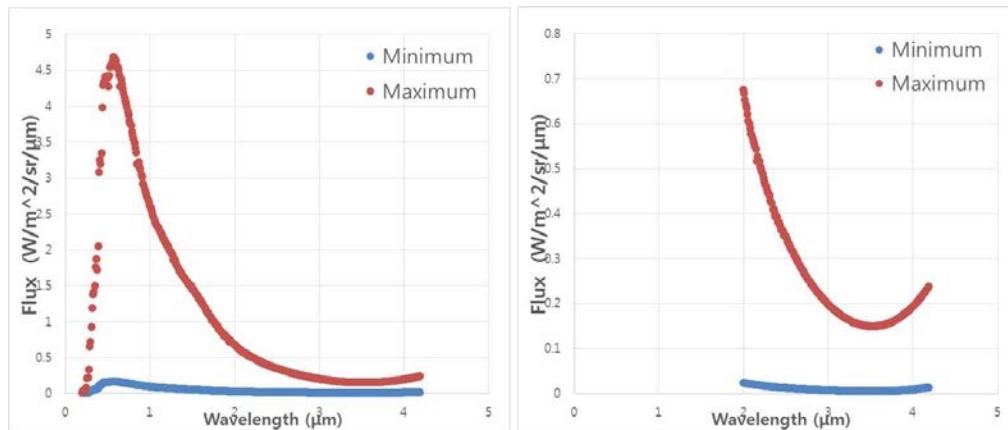
파장 (μm)	$\Delta\lambda$ (μm)	R($=\lambda/\Delta\lambda$)
2.0	0.056	36
2.2	0.032	67
2.4	0.027	89
2.6	0.025	103
2.8	0.023	122
3.0	0.021	140
3.2	0.020	160
3.4	0.020	171
3.6	0.017	209
3.8	0.016	232
4.0	0.021	190

(7) 신호잡음비 (signal to noise ratio, S/N ratio)

- 달성해야 할 신호대잡음비는 전구간에서 $S/N > 10$

(8) 관측지역의 표면밝기

- 광학계의 밝기를 결정하기 위해서는, 표면밝기의 최소값을 가정하여 $S/N > 10$ 이 되었을 때를 기준으로 결정



Statistical type	IR surface brightness at 2-4 μm ($\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}$)
Minimum	0.004576
Maximum	0.02357
Average	0.00926
Median	0.00722

<관측이 예상되는 달 표면의 밝기 분석 자료>

(9) Throughput

- 광학계의 throughput

$$\text{throughput} = (\text{quantum efficiency}) \times (\text{optical transmittance}) = 0.42$$

(10) 분광기의 슬릿 폭

- 분광기의 슬릿 폭은 분광분해능과 밀접한 상관관계
- 현재 광학설계에서는 슬릿의 물리적인 폭은 $50 \mu\text{m}$

나. 광학계 개념설계

(1) 광학설계 개요

- 궤도선의 예상 고도는 100km
- 분광기 전단광학계의 유효초점거리 : 과학임무에서 요구되는 14deg 정도의 FoV를 확보하기 값으로 결정
 - 1.6km/s의 빠른 궤도속도를 감안하여 readout time이 달성가능한 640x512 센서를 선정
 - 유효초점거리와 센서정보에서 FoV, swath distance, ground sample distance(GSD)등에서 과학임무에서 요구하는 수치를 만족시킬 수 있음을 확인

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

- 관측하고자 하는 대상이 흡수선임을 감안할 때, 신호대잡음비도 만족시킬 수 있을 것으로 예상
- 대부분의 분석이 달표면의 표면밝기와 광학계의 throughput을 최소값으로 가정하였기 때문에, 실제 도달할 신호대잡음비는 더 높을 것으로 예상

(2) 광학 및 시스템 사양도출

- 도출된 광학사양

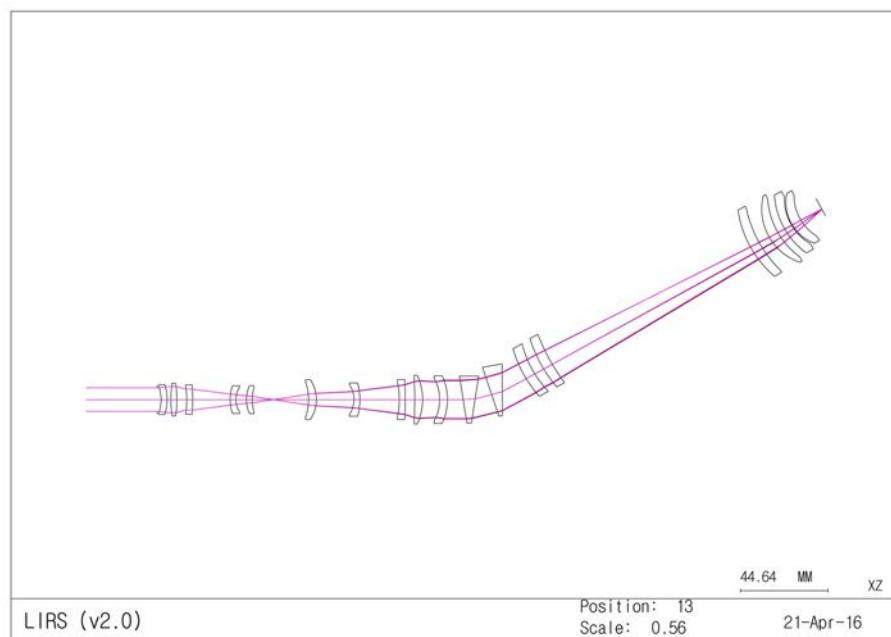
<Parameter>	<Value>	<Constraint>	<Remark>
Orbital Altitude [km]	100	Mission Constraint	
Pixel Size [μm]	15	Detector Spec	
Array Numbers (Spatial Direction)	640	Detector Spec	
Array Numbers (Spectral Direction)	512	Detector Spec	
D_{TEL} [mm]	12	S/N, Diffraction	
EFL [mm]	40	Swath Distance	
FNO _{TEL}	3.333333333	S/N	
FNO _{CAM}	3.333333333		
Swath Distance [km]	24		Goal: 70km, Baseline: 50km
Spatial Resolution (GSD) [m]	37.5		Goal: 50m, Baseline: 50m
Diffraction Limited Spatial Resolution [m]	30.5		
Total FOV [deg]	13.75098708		

IR Surface Brightness (@3.0 μm) [W/ $\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{sr}$]	0.004576
Min. Wavelength [μm]	2
Max. Wavelength [μm]	4
Center Wavelength [μm]	3
$\Delta\lambda$ [μm]	0.015
Spectral Resolution (R)	200
Array Numbers along Spectral Direction	133
Throughput (QE x Transmittance)	0.42
Subtend Solid Angle [sr]	0.070685835
Pixel Area [m^2]	2.25E-10
Energy Emitted [W=J/s]	4.59E-16
Number of Photons [/sec]	6926.015908
Readout Frequency [Hz]	120
Readout Time [sec]	0
Exposure Time [sec]	0.028
S/N Ratio	14
Orbital Velocity [km/s]	1.6
Bore-sight Error [arcsec]	0
Physical Slit Width [mm]	0.04
Swiped Distance between Exposures [m]	45
Covered Width by Slit [m]	100

〈 광학 및 시스템 사양 도출 〉

(3) 광학 레이아웃

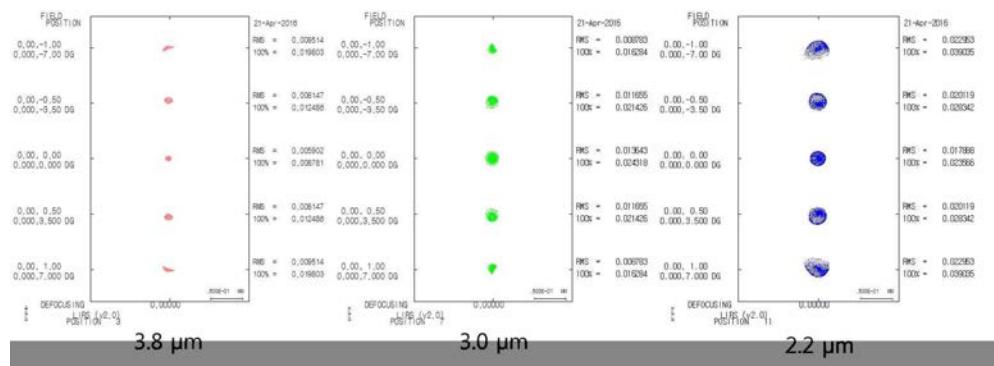
- 현재 광학계의 개념설계는 2개의 프리즘을 이용
- 이 프리즘을 이용하여 과학임무에서 요구하는 분광분해능 $R \sim 100$ 이 달성가능
- 프리즘의 장점은 회절격자에 비하여 다른 order로 손실되는 광량이 없기 때문에 높은 throughput이 달성 가능
- 100km 고도에서 1.6km/s의 속도로 움직이는 궤도선에서 긴 노출시간을 주기 불가능하기 때문에 프리즘은 적절한 선택이라고 판단
- 현 광학계에서 모든 렌즈는 가공이 용이한 구면렌즈로 구성



< 광학계 레이아웃 >

(4) 광학성능 (스프다이어그램)

- 대부분의 파장영역에서 만족스러운 광학성능을 예측 (아래 그림 참고)



< 광학계 성능예측 >

다. 광기계부 개념설계

(1) 설계 기본적 고려 사항

- 달탐사용 중적외선 분광기 광기계부 EM 설계 단계에서 지상용 시스템과 달리 고려해야 할 항목

(가) 진동 환경 (Vibration Environment)

- 우주 탑재체용으로 제작되는 모든 기계부품은 기본적으로 발사 진동 환경 시험 통과
- 이러한 발사진동 환경은 발사체에 따라서 조금씩 다르지만, 그 기본적인 진동 환경은 NASA 및 ESA 문서 규격에 준하기 때문에 문서에 기준하여 설계를 진행 가능
- 일반적으로 Random vibration은 20-2000Hz 주파수 범위에서 10g RMS 값을 견딜 수 있는 기계구조를 설계
- 충격 요구조건은 SRS(Shock Response Spectrum)에 준해서 탑재체의 고유진동수에 해당

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

하는 충격 시험 통과

- 중적외선 분광기는 진동에 쉽게 파손될 수 있는 광학계가 포함되어 있기 때문에 이러한 진동환경을 견딜 수 있는 광기계 설계는 미션 성공을 좌우하는 매우 중요한 요소

(나) 열진공 환경 (Thermal Vacuum Environment)

- 중적외선 분광기는 우주에서 운영되기 때문에 우주 환경을 기본적으로 시험
- 지상과 달리 1×10^{-5} torr보다 낮은 고진공에서 낮밤에 따라 극심한 온도변화를 견뎌야 함
- 열진공 환경은 특히 지구와 다른 달 탐사 환경을 함께 고려
- 우주 환경 시험 중 열진공 시험은 필수적인 시험 요소

(다) Out-gassing 요구조건

- 열진공 환경에서 지상의 구조물들은 그 표면에서 기체를 방출하는 현상
- out-gassing은 구조물을 구성하고 있는 물질에 따라 다른 특성을 지님
- Out-gassing의 요구사항은 CVCM(Collected Volatile Condensable Materials)과 TML(Total Mass Loss)로 주로 제어 가능
- 일반적으로 물질의 총 mass 기준에서 CVCM < 0.1%, TML < 1% 값으로 규정
- 표면품질이 중요한 광학계를 구성하는 탑재체일 경우 이러한 기준을 만족하는 물질을 선택해서 설계

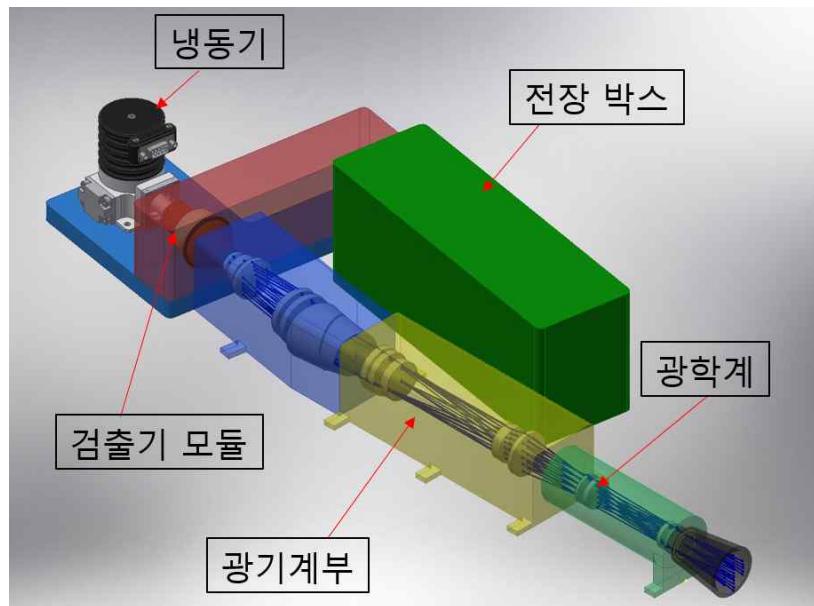
(2) 개념 설계

(가) Mass Budget

- 중적외선 분광기는 탑재체 기본 요구 사항으로 15kg을 초과하지 않아야 함
- Mass 요구조건 범위 내에서 광기계, 전장박스, 냉동기, 검출기 모듈, 하네스 등의 무게가 할당
- 현재 설계된 개념의 무게는 광기계 6.8kg, 전장박스 3kg, 냉동기 0.5kg, 검출기 모듈 0.5kg, 하네스 1kg 가량으로 총 11.8kg (TBD)

(나) 개념 형상 설계

- 중적외선 분광기의 광학계를 바탕으로 개념 형상



(다) 냉동기 요구 조건

- 0.5W 냉동기의 수명은 미션 수명에 의존하는 요구조건이기 때문에, 그 신뢰도는 최소 1년 이상을 운영 가능
- 현재 고려하고 있는 MTTF 는 10,000 시간
- 냉동기는 기계연에서 개발되고 있으며, 그 신뢰성 검증이 요구되는 항목임

라. 적외선 분광기 전자부 개념설계

(1) 적외선 센서 사양

- 적외선 센서의 제원, 주요성능 및 요구 환경 성능

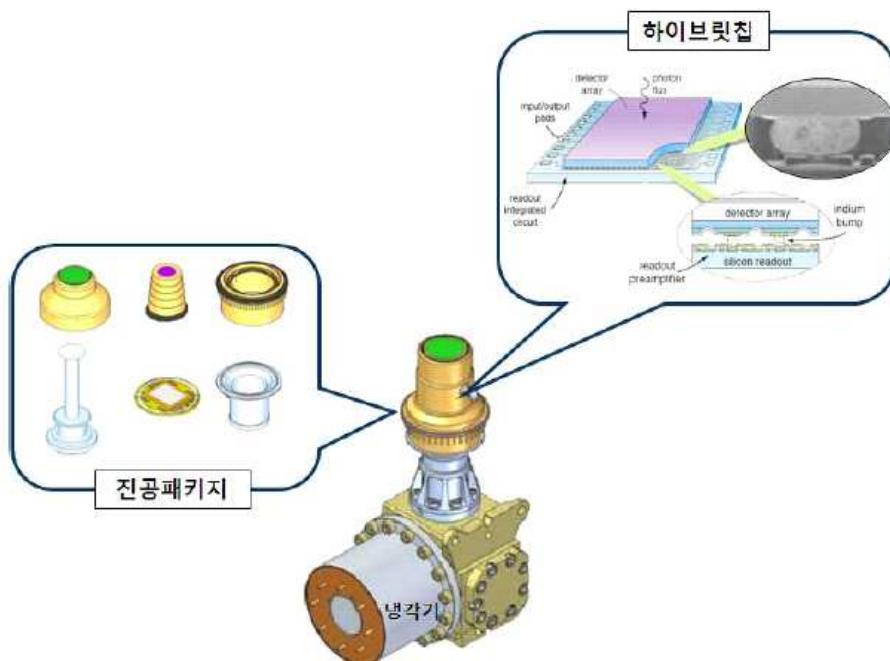
<적외선 센서 제원, 주요 성능 및 환경 성능>

항 목		규격
제원	검출기 형식	640 x 512
	픽셀 피치	15 μm
	검출파장대역	2.0 ~ 4.0 μm
	냉각기 형식	사용자 요구 사항 반영
	FOV(TBC)	사용자 요구 사항 반영

주요 성능	Heat dissipation	< 300mW
	Readout noise (CDS)	< 100e ⁻
	Dark current @ 90K	< 5e3e ⁻ /s
	Operability	> 95%
	Cluster (50 or more)	< 1%
	Mean QE @3.5μm	> 70%
	Response Uniformity (Sigma/mean)	< 5%
	운용 온도	80 ~ 90K

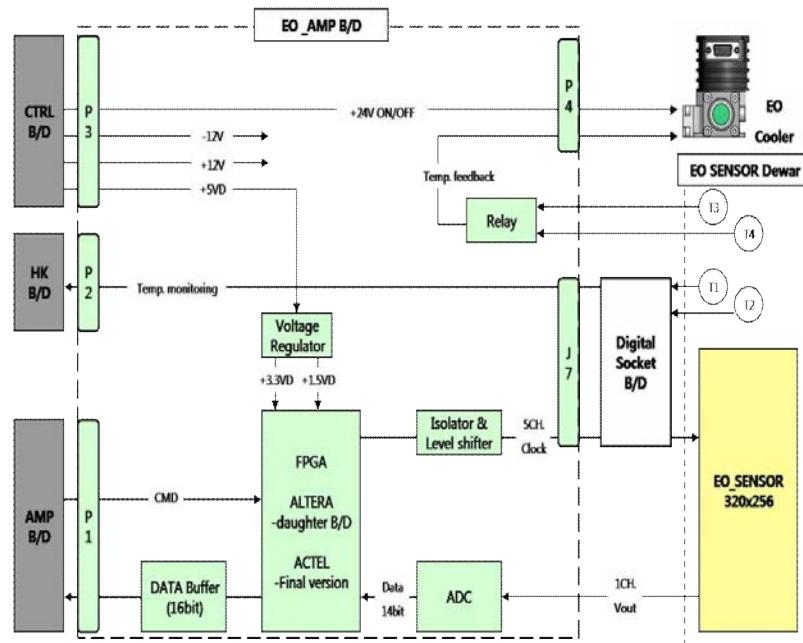
환경 성능	내방사선	No Destructive Latchup SEU(<1upset/30days)
	Thermal Vacuum	Cycles: 8회 Dwell Time: 2hours
	진공수명	> 5년
	저장 온도	-60 ~ 60 °C
	진동	0.013~0.08G ² /Hz(@20~2kHz) - Overall 10grms
	기계적 충격	20g(@100Hz), 2,000g(@1.5kHz), 2,000g(@10kHz w/ 2 actuations)

- 사용되는 적외선 검출기는 저온을 위한 냉각기 위에 진공패키지가 조립되며, 그 안에 하이브리드 적외선 센서 칩이 조립되는 형상



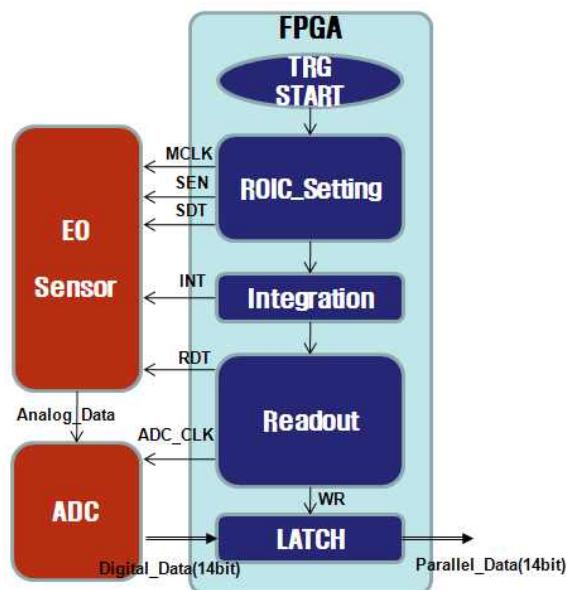
〈적외선 검출기 형상〉

(2) 적외선 센서 구동 전자부 개념설계



<적외선 센서 구동 전자부 개념설계도>

- 적외선 센서를 구동하기 위한 FPGA의 기능 (그림 3 참고)
- FPGA 기능 요구조건
 - 적외선센서 ROIC 모드 setting 및 readout clock 생성
 - 노출 시간 (Integration time) 설정
 - ADC readout clock 생성
 - ADC로부터 digital data input 및 packetizing

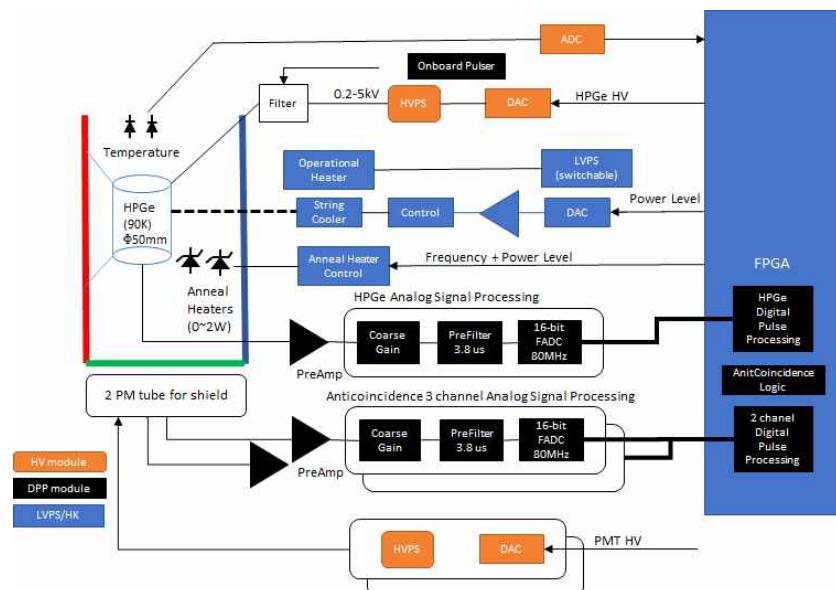


<적외선센서 구동 FPGA 기능 >

3. 감마선 분광기와 중성자 검출기 전자부 개념설계

가. 설계개념

- 달 탐사용 Gamma-ray spectroscopy(GRS) 전자부 구성은 달 탐사를 위한 Gamma-ray 검출기인 HPGe 검출기와 방사선의 노이즈를 제거하기 위하여 사용되는 Shield 검출기를 제어하고, 출력 신호를 증폭하고 샘플링하는 검출 회로, 그리고 시스템의 전원, 시스템의 주변회로들로 구성

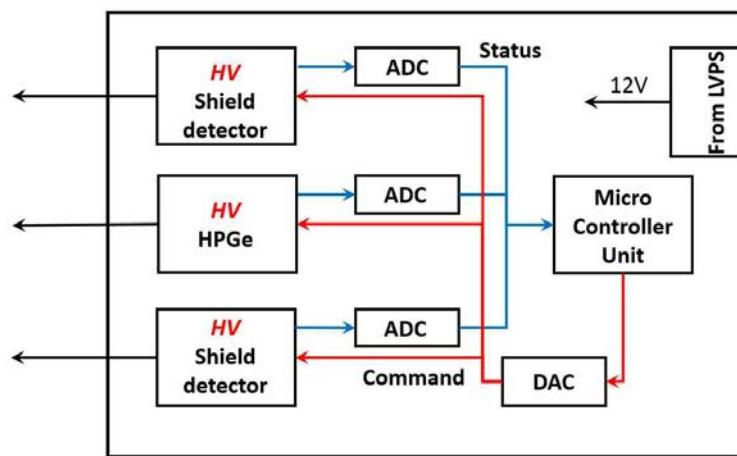


<Gamma-ray spectroscopy를 위한 전자부 회로 구성도>

- 시스템의 부피와 무게를 줄이기 위해 회로의 기능에 따라 다음과 같이 4개의 모듈로 구성

(1) High Voltage Power Supply (HVPS) module

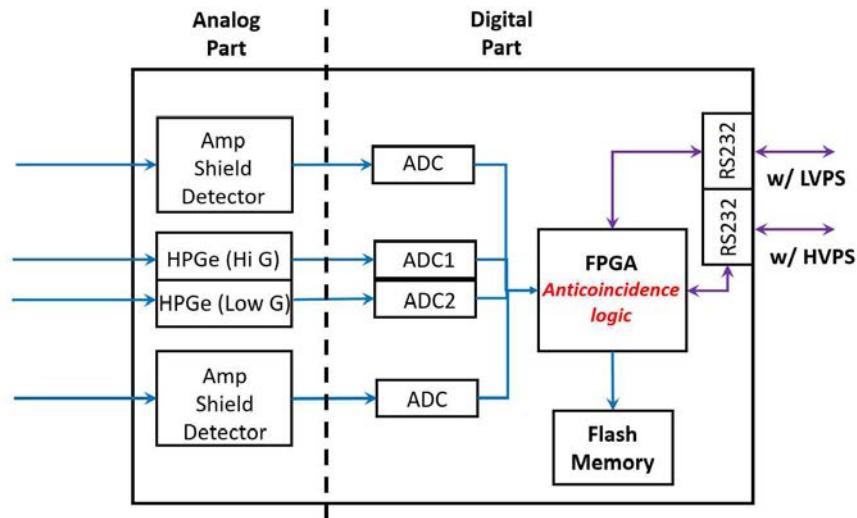
- HPGe와 2개의 PM tube를 위한 고전압 제공
- HV 제어를 위한 DAC, HV 값을 모니터링하기 위한 ADC 내장



<HVPS 모듈 기능 블록 다이어그램>

(2) Digital Pulse Processing (DPP) module

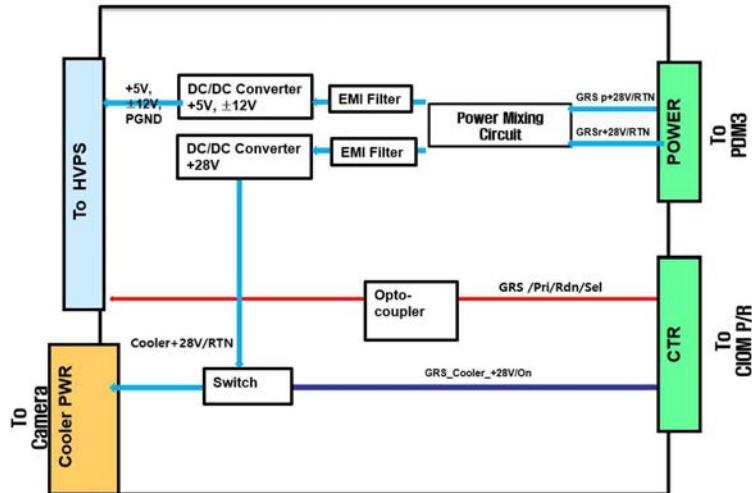
- 주 검출기는 HPGe 검출기이며, 이의 신호를 처리하기 위한 고분해능 Digital Pulse Processing 구현
- 2개의 PM 튜브 신호를 처리하기 위한 Digital pulse processing 구현
- Digital pulse processing은 사다리꼴 정형 디지털 알고리즘을 사용하여 구현함.



<DPP 모듈 기능 블록 다이어그램>

(3) Low Voltage Power Supply (LVPS) module

- 위성체로부터 제공되는 +28V 전원을 이용하여 시스템이 필요로 하는 시스템 전원 제공
- 시스템 보호를 위한 믹서 및 필터회로 내장되어야 함.

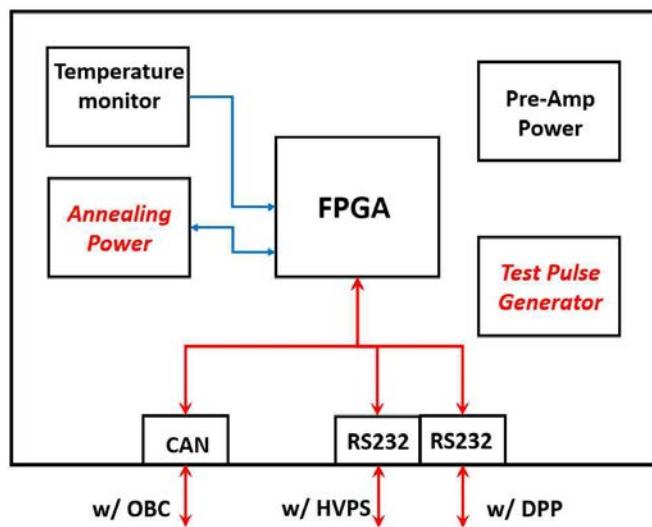


<LVPS 모듈 기능 블록 다이어그램>

(4) Spacecraft Interface/Housekeeping (SCIF/HK) module

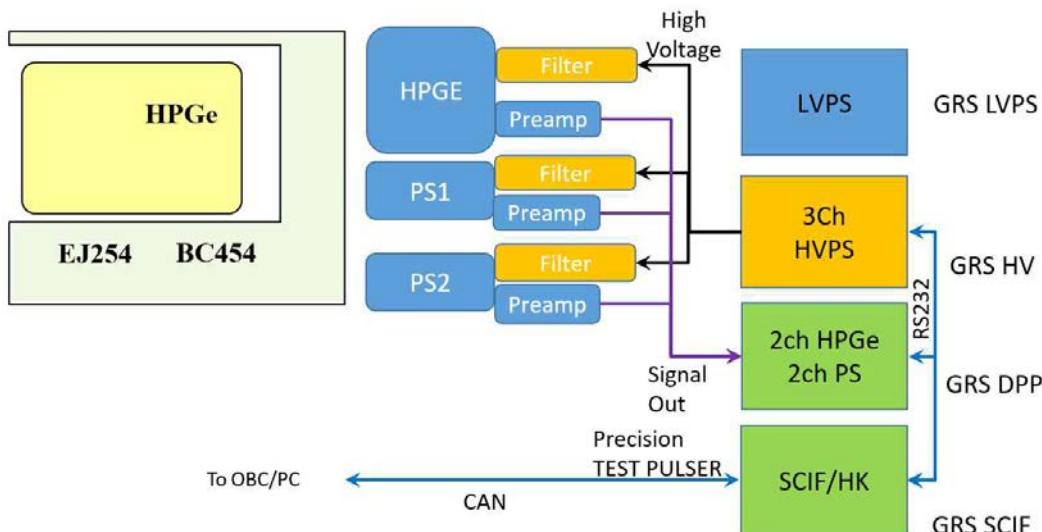
- GRS 전자부 모듈간 통신용 RS-232C 통신 기능 및 Housekeeping 회로 기능 내장.
- 위성체 버스 시스템 통신용 CAN (Controller Area Network) 통신 기능

- Test pulse generator 회로 내장.
- preamp 및 Annealing heater 전원



<SCIF/HV 모듈 기능 블록 다이어그램>

위 4개 모듈의 연결 관계를 다음에 표시하였다.



<GRS/NS 전자부의 각 모듈 역할 및 연결도>

나. Prototype PCB 제작 시방

(1) HVPS module

- HPGe를 위한 negative 0~5000V
- 2개의 PM tube를 위한 negative 0~2000V (or negative 1000V) 2 개
- HV 제어를 위한 DAC, HV 값을 모니터링 하기 위한 ADC 내장

(2) DPP module

- 주 검출기는 HPGe 검출기이며, 이의 신호를 처리하기 위한 고분해능 Digital Pulse Processing (사다리꼴 정형 알고리즘 구현)
- Cobalt 감마선원의 1.33 MeV 피크에 2 keV 분해능 구현.
- 2개의 PM 튜브 신호를 처리하기 위한 Digital pulse processing (사다리꼴 정형 알고리즘 구현)
- NaI(Tl) 검출기에 대한 Cobalt 감마선원의 1.33 MeV 피크에 7%이하의 분해능 구현.
- 전자부의 상태를 점검하기 위한 High precision pulser
- 1 HPGe + 2 PM 타이밍신호를 이용한 anti-coincidence logic : Digital Constant Fraction Logic 구현
- 아날로그 펄스를 출력시킬 수 있는 DAC 2 채널
- 디지털 신호(타이밍 및 모니터링)를 출력시키는 I/O 8 채널
- 원격제어를 위한 시리얼 통신(옵션 : USB 통신)
- 상기 내용을 구현시키는 FPGA coading

(3) LVPS module

- 초기전원 막서 및 필터회로
- DPP 및 HV 전원
- preamp 전원
- Annealing heater 전원
- 온도 모니터링

다. FPGA 로직 제작 시방

(1) 일반규격

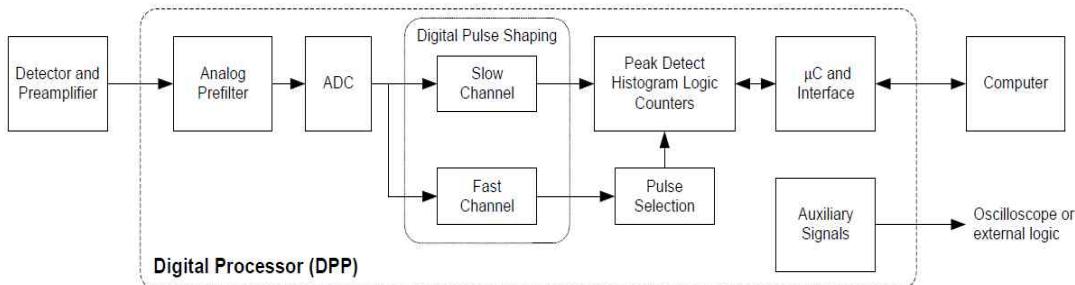
(가) 기능 : FPGA에서 디지털필터와 데이터획득을 하는 펌웨어

(나) 입력신호 규격

Polarity	Inverse of input
Rise Time	2.5 ns at 0 pF input load with 2SK152 4.5 ns at 100 pF input load .
Output Impedance	10 ohm
Integral Nonlinearity	< 0.03% for 0 to +2 V unloaded <0.006% for 0 to -2 V unloaded
Decay Time Constant	300 Mohm x Cf = 300 μs, 900 μs, 1.5 ms, 2.1 ms User selectable T=Rf Cf
Positive Clipping Level	> +2.8 V
Negative Clipping Level	< -4.6 V

(2) 로직 구성 내용

- 디지털 펄스 프로세싱 기능
 - 1 HPGe, 2 PM 신호 공동



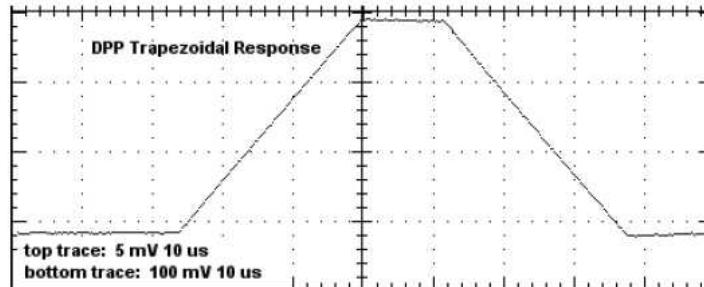
<디지털 펄스프로세싱 기본 개념도>

- 아날로그 프리필터 :
 - 프리앰프 베퍼 필터 : 3.8 us 사용
 - 시스템의 이득 결정
 - 아날로그 신호의 디지털화를 위한 베퍼
- ADC : the 14bit ADC at a 20 or 80 MHz rate.
- 디지털 펄스 정형(Digital Pulse Shaper)
 - 파이프라인 아키텍쳐와 실시간 정형을 이용한 연속적인 펄스 처리 정형된 출력은 DAC를 통해 확인 할 수 있어야 함.
 - DPP 경로에서 “fast”, “slow” channels이 있으며, 입력 펄스열에 대해 최적화 신호 처리
 - “slow” channel은 pulse height를 결정하는데 사용.
 - The “fast” channel 은 디지털화 하는데 사용.
 - 두 펄스 채널을 이용하여 anti-coincidence, rise time discrimination등 부가기능 구현
- 펄스 선별 로직
 - pile-up rejection
 - risetime discrimination
 - logic for an external gating signal etc.
 - anti-coincidence
- Histogram Memory :
 - MCA, energy spectrum
 - counters : 선별적이고 선택적인 입력 event에 대해 계수하는 장치
 - DAC output : FPGA 내부의 상태를 모니터링하기 위한 출력

- 펄스 신호처리 성능

- Gain : x0.84 ~ x127.5
- Full Scale : 1000 mV input pulse @ x1 gain
- Gain Stability : < 20 ppm/C (typical)
- Pulse Shape-Trapezoidal : 그림 8 참고-
- Peaking Times : 0.1 and 20us

Max Count Rate : 4 MHz with a peaking time of 0.2 us



<사다리꼴 펄스 정형 (예) >

- Dead Time Per Pulse : 1.05x peaking time, No conversion time.
- Fast Channel pulse pair resolving time : 120 ns
- Pile up reject : Pulses separated by more than the fast channel resolving time, 120 ns, and less than 1.05x peaking time are rejected.

(나) MCA(Multichannel Analyzer)

- 3개의 채널 모두 다음과 같은 규격을 기본적으로 만족시켜야 함.
- Number of channels : 256, 512, 1024, 2048, 4096, or 8192 channels
- Byte per channel : 3 bytes (24 bits), 16.7 M counts
- Preset Acquisition time : 10 ms to 466 days
- Preset : Time, Total counts,
- Counters : Incoming counts, event rejected by selection logic, and external event counter

(다) Anti-coincidence 기능

- 디지털 펄스 타이밍 기능 구현 :
- CFD(constant fraction Discriminator 기능 혹은 Zero crossing Discrimination 구현

(라) MPU 기능

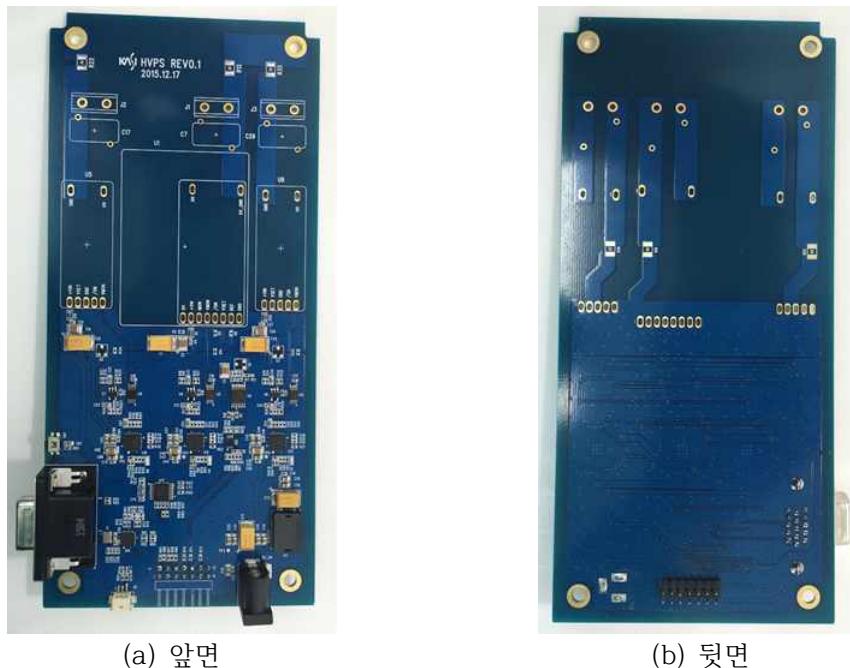
- 통신을 이용한 원격제어 : protocol (추후 협의)
- 시스템의 운영을 위한 microprocessor 기능
- Interface : RS232
- (option) USB
- 회로의 크기를 줄이기 위해 FPGA내 통합 구현

라. GRS 전자부 모듈 개발 모델(Development Model) 제작 및 시험

GRS 전자부 4개의 모듈은 한국천문연구원과 (주)아이트릭스 테크놀로지에서 제작하고 동작 /기능 시험을 진행하였다. 아래에 제작된 각 4개 모듈의 제작 결과물 및, 전원 검증 및 소요 현재까지 완성된 기능의 검증 결과를 기술하였다.

(1) HVPS 모듈 제작 및 시험

(가) PCB 제작 및 조립



<HVPS 모듈 PCB>

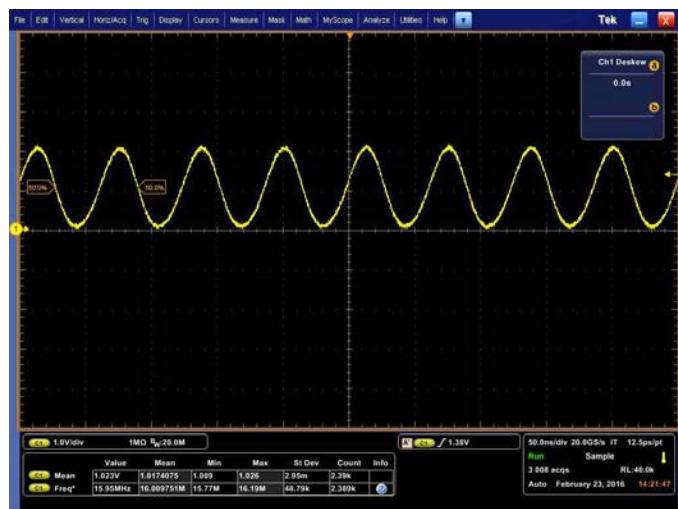
(나) Hardware 기본 체크

<시스템 전원부 조사 요약>

No	Power	Spec(5%)	Measured value	Measur e point	Remark	Result
2.1	HV_VCC12	11.4~12.6	11.96~11.99	C40	SYSTEM 3.3V	PASS
2.2	HV5V	4.75V~5.25V	5.42~5.44	TP4	FPGA CORE 1.2V	PASS
2.3	VCC3V3_AU_X	3.15~3.45	3.36~3.372	TP5	FPGA I/O 1.8V	PASS
2.4	HVM5V	4.75V~5.25V	5.45~5.459	TP6	DAC +5.5V	PASS

<Clock signal quality 시험 결과 요약>

No	AC Specification	Measured	Remark	RESULT
3.2-1	Frequency: 15.60 MHz ~ 16.4 MHz	15.77 ~ 16.19 MHz		PASS

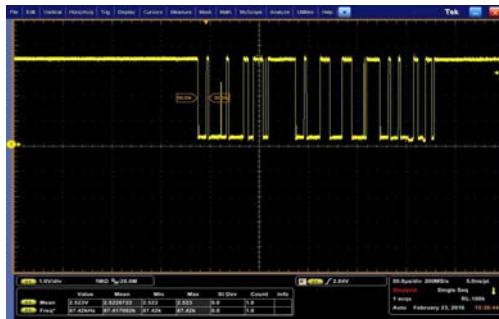


<HVPS Main clock 과형>

<HVPS 소비 전력 조사 결과 요약>

No	Power	Current Spec.	Measured	Remark	RESULT
4.1	System Power	Max 0.5A@12V	0.04A ~ 0.05A (normal)		PASS
4.2	SYSTEM 3.3V	Max 1A@3.3V	0.145A ~ 0.148A (normal)		PASS

(다) 기능 동작 시험



(a) I2C clock



(b) I2C Data



(c) I2C line status

<I2C 인터페이스 동작 테스트>

(2) DPP 모듈 제작 및 시험

(가) PCB 제작 및 조립



(a) 앞면



(b) 뒷면

<DPP 모듈 PCB>

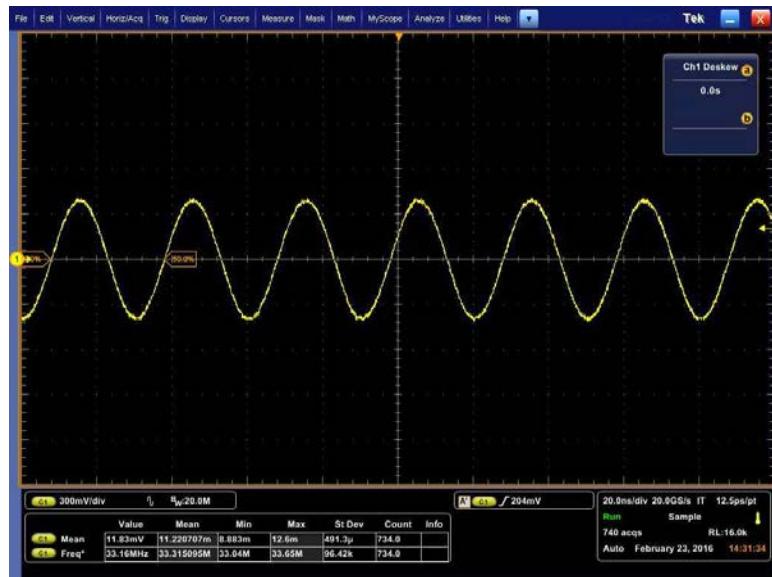
(나) 하드웨어 기본 체크

<시스템 전원부 조사 결과 요약>

No	Power	Spec(5%)	Measured value	Measure point	Remark	Result
2.1	VCC3V3_A_UX	3.15~3.45	3.356~3.359	TP1	SYSTEM 3.3V	PASS
2.2	VCC1V2	1.08~1.26	1.243~1.249	C361	FPGA CORE 1.2V	PASS
2.3	VCC1V8	1.71~1.89	1.863~1.869	C355	FPGA I/O 1.8V	PASS
2.4	+5V5_DAC	5.48V~5.75V	5.663~5.672	C292	DAC +5.5V	PASS
2.5	-5V5_DAC	-5.48V~-5.75V	-5.437~-5.426	C300	DAC -5.5V	PASS
2.6	-6VA1	-5.7~-6.3	-6.07~-6.062	CT10	DAC -6V	PASS
2.7	+5V5A0	5.48V~5.75V	5.627~5.628	C185	ANALOG0 +5.5V	PASS
2.8	-5V5A0	-5.48V~-5.75V	-5.477~-5.465	C179	ANALOG0 -5.5V	PASS
2.9	+5V5A1	5.48V~5.75V	5.649~5.658	C287	ANALOG1 +5.5V	PASS
2.10	-5V5A1	-5.48V~-5.75V	-5.447~-5.438	C280	ANALOG1 -5.5V	PASS
2.11	-6VA0	-5.7~-6.3	-6.061~-6.054	CT4	ANALOG -6V	PASS
2.12	AVCC12	11.4~12.6	12.08~12.1	CT2	ANALOG Main 12V	PASS
2.13	AVCC1V8	1.71~1.89	1.846~1.85	C111	ANALOG 1.8V	PASS

<FPGA Main clock 조사 결과>

No	AC Specification	Measured	Remark	RESULT
3.2-1	Frequency: 32.8 MHz ~ 33.8MHz	33.04 ~ 33.65 MHz		PASS
3.2-2	Duty ratio: 48% ~ 52%	49%		PASS



<FPGA main clock 파형>

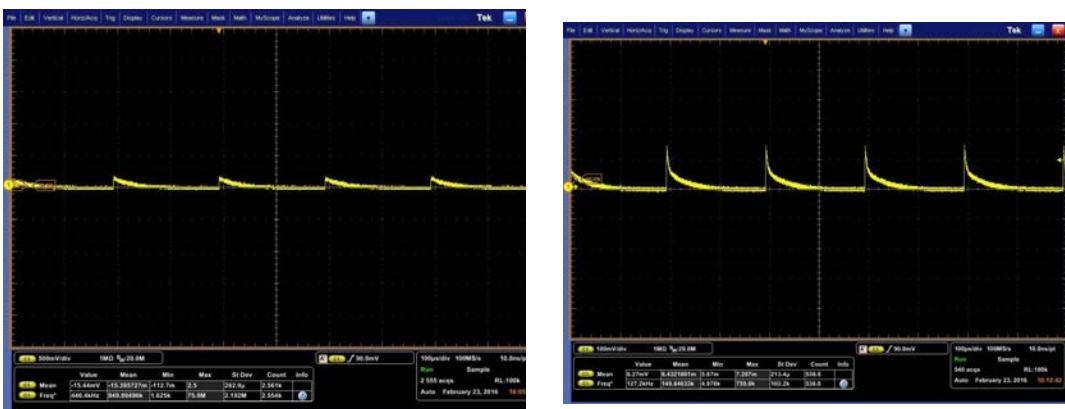
<DPP 소비 전력 결과 요약>

No	Power	Current Spec.	Measured	Remark	RESULT
4.1	System Power	Max 0.5A@12V	0.38A ~ 0.39A (normal)		PASS
4.2	Normal 3.3V	Max 1A@3.3V	0.42A ~ 0.44A (normal)		PASS
4.3	GPIO 1.8V	Max 0.8A@1.8V	520mA		PASS
4.4	Core 1.2V	Max 0.8A@1.2V	240mA		PASS

(다) 동작 시험

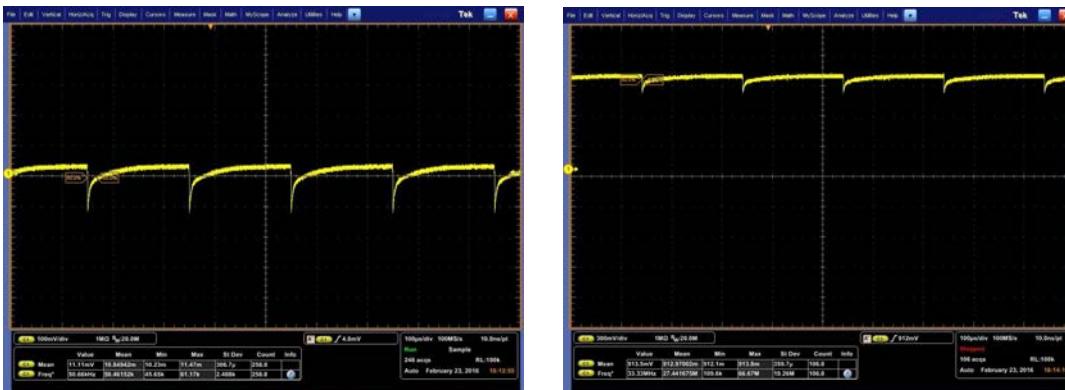
DPP 보드 상의 ADC 기능 시험.

- 입력 신호: Function generator_ Ramp signal / 5Khz / 500mV



(a) Buffer amp signal

(b) coarse gain signal

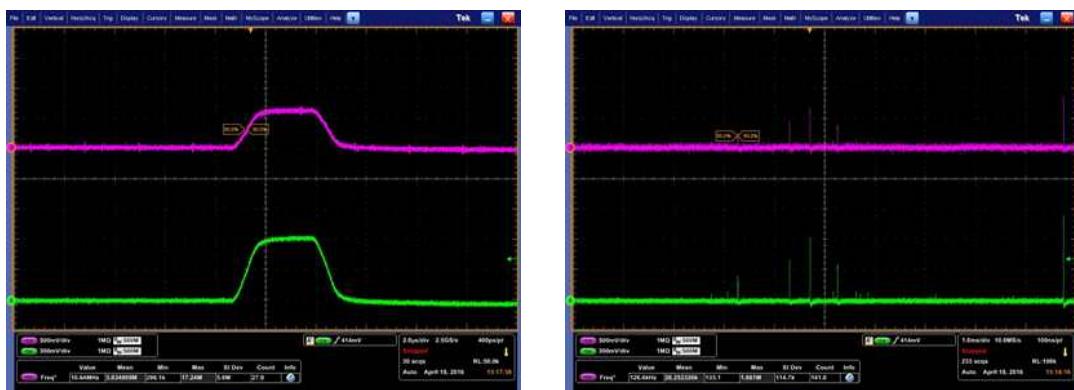


(c) pre-filter signal

(d) front ADC signal

<입력 신호에 대한 각 부분 출력 신호>

- DPP 파형 검증



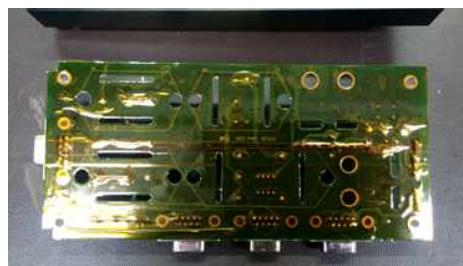
<테스트 입력 펄스를 DPP 과정으로 처리해 얻어진 사다리꼴 정형 모습 >

(3) LVPS 모듈 제작 및 시험

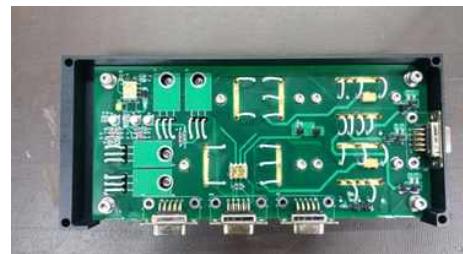
(가) PCB 제작 및 조립



(a) LVPS E-box 및 LVPS PCB 앞면



(b) LVPS PCB 뒷면



(c) E-box 조립 상태

<LVPS 모듈 PCB 및 LVPS용 E-box>

(나) 하드웨어 기본 체크

<LVPS 시스템 전원부 조사 결과 요약>

No	Power	Spec(5%)	Measured value	Measure point	Remark	Result
2.1	+12VA	11.4~12.6	11.98~12.06	L6	SYSTEM 12V	PASS
2.2	+5VD	4.75V~5.25V	5.104~5.5.11	L4	NOT USED	PASS
2.3	-12V	-11.88~-11.91	3.36~3.372	L8	NOT USED	PASS
2.4	+28V	26.6V~29.6V	28.11~28.16	L2	COOLER POWER	PASS

<LVPS 시스템 소요 전력 조사 결과>

No	Power	Current Spec.	Measured	Remark	RESULT
4.1	System Power	Max 0.5A@28V	0.04A ~ 0.05A (normal)		PASS

(4) SCIF/HK 모듈 제작 및 시험

(가) PCB 제작 및 조립



(a) 앞면



(b) 뒷면

<SCIF/HK 모듈 PCB>

(나) 하드웨어 기본 체크

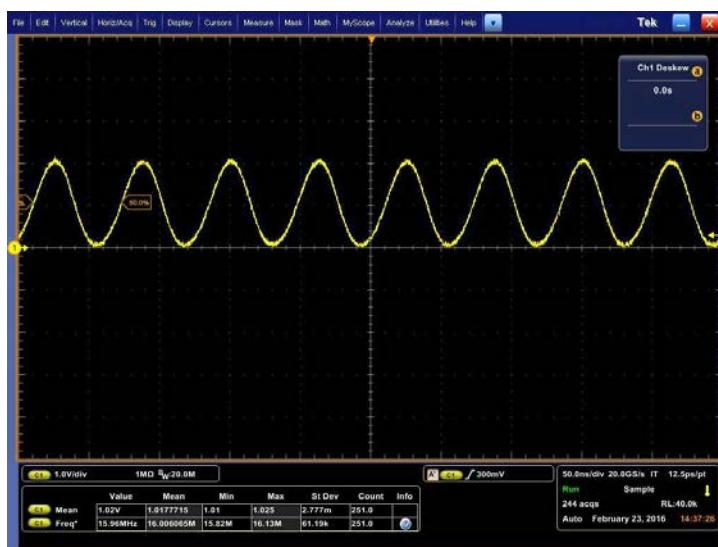
<시스템 전원부 조사 결과 요약>

No	Power	Spec(5%)	Measured value	Measure point	Remark	Result
2.1	HV_VCC12	11.4~12.6	11.84~11.97	C40	SYSTEM 12V	PASS
2.2	VCC5V_AU_X	4.75V~5.25V	5.071~5.076	TP4	SYSTEM 5V	PASS
2.3	VCC3V3_A_UX	3.15~3.45	3.356~3.376	TP5	SYSTEM 3.3V	PASS
2.4	-VA	-1.9~ -2.1	-1.996~ -2.01	C390	ANALOG -2V	PASS
2.5	VCC12_P	11.4~12.6	12.24~12.25	C464	PREAMP 12V	PASS
2.6	VCC-12	-11.4~ -12.6	-12.03~ -12.25	C380	PREAMP -12V	PASS
2.7	VCC24	22.4~25.6	24.42~24.46	C465	PREAMP 24V	PASS
2.8	VCC-24	-22.4~ -25.6	-24.09~ -24.1	C385	PREAMP -24V	PASS
2.9	VCC6_AMP	5.7~6.3	5.98~5.994	C500	PREAMP 6V	PASS

<MCU main clock quality 조사 결과 요약>

No	AC Specification	Measured	Remark	RESULT
3.2-1	Frequency: 15.60 MHz ~ 16.4 MHz	15.82 ~ 16.13 MHz		PASS
3.2-2	Duty ratio: 48% ~ 52%	49%		PASS

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.



<MCU main clock 과형>

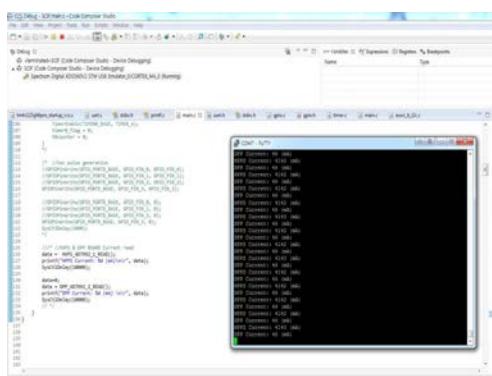
<SCIF/HV 모듈 소비 전력 조사 요약>

No	Power	Current Spec.	Measured	Remark	RESULT
4.1	System Power	Max 0.5A@12V	0.18A ~ 0.19A (normal)		PASS
4.2	SYSTEM 3.3V	Max 1A@3.3V	0.11A ~ 0.3A (normal)		PASS

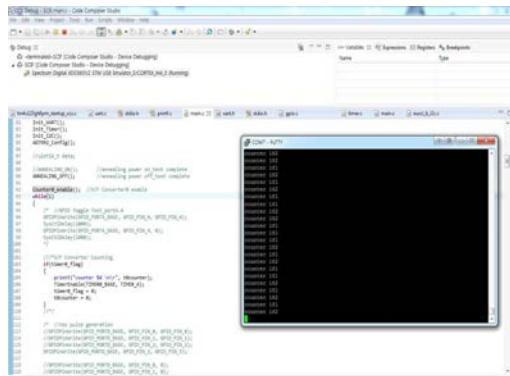
(다) 동작 시험

<동작 시험 결과 요약>

No	Description	Specification	Result
3-1	Current sensing ADC	READ VALUE	PASS
3-2	TEMP to V/F CONVERTER	COUNTING	PASS
3-3	ANNEALING POWER CONTROL	SCOPING	PASS
3-4	DEBUG RS232	CHECK CONSOLE	PASS



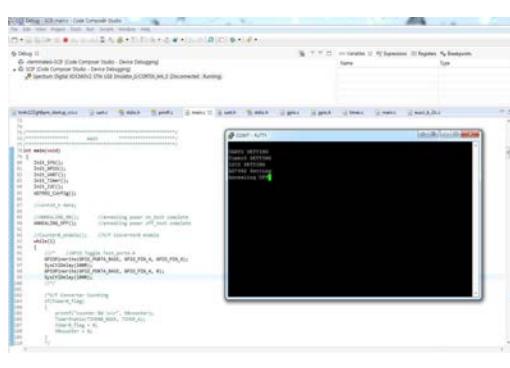
(a) ADC current sensing test 모습



(b) Temperature -> V/F conversion test 모습



(c) Annealing Power On/Off Test



(d) RS-232c 통신 테스트 모습

<SCIF/HK 보드 기능 테스트 모습>

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

1. 총괄표

성과지표	목표	실적	달성률(%)
1. 총 논문 편수(국내/국외)	33(0/33)	41(1/40)	124
2. SCI/SCIE 논문 편수(국외)	33	40	121
- NSC 및 동 자매지	-	-	-
- 단독·주교신저자 수/점유율	8	15	187
3. 1인당 SCI 논문수	-	-	-
4. 국외학술발표 실적	10	38	380
5. 학술회의개최(국내/국외)	2/0	1/0	50

2.. 논문게재 실적

번호	구분 (논문/ 특허)	저자명	논문/특허명	게재일자, 게재지	저자구 분	SCI 여부	비고
1	논문	임은경	Observations of a Series of Flares and Associated Jet-like Eruptions Driven by the Emergence of Twisted Magnetic Fields	‘16.01, ApJ	주저자	SCI	국제공동
2	논문	김경찬	Modeling the storm-time behavior of the magnetosonic waves using solar wind parameters	‘16.01, JGR: Space Physics	주저자	SCI	국제공동
3	논문	박재홍	Hemispheric asymmetry in transition from equatorial plasma bubble to blob as deduced from 630.0 nm airglow observations at low-latitudes	‘16.02, JGR: Space Physics	주저자	SCI	국제공동
4	논문	박재홍	Daytime midlatitude plasma depletions observed by Swarm: Topside signatures of the rocket exhaust	‘16.03, JGR: Space Physics	주저자	SCI	국제공동
5	논문	조경석	Ultra-narrow Negative Flare Front Observed in Helium-10830~Å using the 1.6 m New Solar Telescope	‘16.03, ApJ	공동	SCI	국제공동

6	논문	장수정	Comparison between 2D and 3D Parameters of 306 Front-side Halo CMEs from 2009 to 2013	‘16.04, ApJ	주저자	SCI	
7	논문	김연한	Oscillatory Response of the Solar Chromosphere to a Strong Downflow Event above a Sunspot	‘16.04, ApJ	공동	SCI	국제공동
8	논문	김록순	Coronal electron density distributions estimated from CMEs, DH type II radio bursts, and polarized brightness measurements	‘16.04, JGR: Space Physics	공동	SCI	
9	논문	Yurchyshyn, V.	Active Latitude Oscillations Observed on the Sun	‘16.04, Solar Physics	공동	SCI	국제공동
10	논문	Pankaj Kumar	Observation of a Quasi-periodic Pulsation in Hard X-ray, Radio and Extreme-ultraviolet Wavelengths	‘16.05, ApJ	주저자	SCI	국제공동
11	논문	황정아	Simulation of a rapid dropout event for highly relativistic electrons with the RBE model	‘16.05, JGR: Space Physics	공동	SCI	국제공동
12	논문	Nai-Hwa Chen	The 17 June 2011 Polar Jet and its Presence in the background solar wind	‘16.06, JGR: Space Physics	공동	SCI	국제공동
13	논문	Yurchyshyn, V.	Signature of a Possible Relationship between the Maximum CME Speed Index and the Critical Frequencies of the F1 and F2 Ionospheric Layers: Data Analysis for a Mid-Latitude Ionospheric Station during the Solar Cycles 23 and 24	‘16.06, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics	공동	SCI	국제공동
14	논문	박재홍	Scale analysis of equatorial plasma irregularities derived from Swarm constellation	‘16.07, Earth, Planets and Space	공동	SCI	국제공동
15	논문	곽영실	Variation of the topside ionosphere during the last solar minimum period studied with multi-satellite measurements of electron density and temperature	‘16.07, JGR: Space Physics	공동	SCI	
16	논문	임은경	Strong Blue Asymmetry in H α line as a Preflare Activity	‘16.08, Solar Physics	공동	SCI	국제공동
17	논문	Pankaj Kumar	Flare Generated Shock Wave Propagation Through Solar Coronal Arcade Loops and Associated Type II Radio Burst	‘16.08, ApJ	주저자	SCI	국제공동

18	논문	Yurchys hyn, V.	How did a Major Confined Flare Occur in Super Solar Active Region 12192?	'16.08, ApJ	공동	SCI	국제공동
19	논문	이영숙	Evidence for Long-Lasting Electrical Leader Discharges in Non-Specular Meteor Trails Observed In the Summer Polar Upper Mesosphere	'16.09, Research Inventy: International Journal of Engineering and Science	주저자	비SCI	국제공동
20	논문	황정아	Generation of Coherent Ion Acoustic Solitary Waves in Inhomogeneous Plasmas by an Odd Eigenmode of Electron Holes	'16.09, Physics of Plasmas	공동	SCI	
21	논문	황정아	Ion temperature anisotropy due to perpendicular heating by Alfvén wave propagating along magnetic field lines	'16.09, Physics of Plasmas	공동	SCI	국제공동
22	논문	임은경	Fine-Scale Photospheric Connections of Ellerman bombs	'16.10, ApJ	공동	SCI	국제공동
23	논문	Yurchys hyn, V.	Multi-wavelength study of transition region penumbral bright dots using interface region imaging spectrograph and new solar telescope	'16.10, ApJ	공동	SCI	국제공동
24	논문	조일현	Comparison of the Damped Oscillations in Solar and Stellar X-ray flares	'16.10, ApJ	주저자	SCI	국제공동
25	논문	곽영실	Where does plasmasphere begin?: Revisit to topside ionospheric profiles in comparison with plasmaspheric TEC from Jason-1	'16.10, JGR: Space Physics	공동	SCI	
26	논문	곽영실	Comment on "The night when the auroral and equatorial ionospheres converged" by Martinis, C., J. Baumgardner, M. Mendillo, J. Wrotten, A. Coster, and L. Paxton	'16.10, JGR: Space Physics	공동	SCI	국제공동
27	논문	박재홍	Statistical survey of nighttime mid-latitude magnetic fluctuations: Their source location and Poynting flux as derived from the Swarm constellation	'16.10, JGR: Space Physics	주저자	SCI	국제공동

28	논문	조경석	Pre-flare coronal jet and evolutionary phases of a solar eruptive prominence associated with M1.8 flare: SDO and RHESSI observations	'16.12, ApJ	공동	SCI	국제공동
29	논문	Nai-Hwa Chen	Undercover EUV solar jets observed by the Interface Region Imaging Spectrograph	'16.12, ApJ	주저자	SCI	국제공동
30	논문	조경석	The 17 March 2015 storm: the associated magnetic flux rope structure and the storm development	'16.12, EPS	공동	SCI	국제공동
31	논문	Yurchys hyn, V.	Pre-eruption Oscillations in Thin and Long Features in a Quiescent Filament	'16.12, ApJ	주저자	SCI	국제공동
32	논문	김태현	Evidence of bar-induced secular evolution in the inner regions of stellar discs in galaxies: what shapes disc galaxies?	MNRAS	주저자	SCI	
33	논문	이덕행	Radiative transfer in disc galaxies - V. The accuracy of the KB approximation	MNRAS	주저자	SCI	
34	논문	김재우	DISCOVERY OF A SUPERCLUSTER AT $z \sim 0.91$ AND TESTING THE Λ CDM COSMOLOGICAL MODEL	ApJL	공동	SCI	
35	논문	Toru Kondo	AKARI/IRC 중적외선 전천 확산광 지도를 위한 황도 방출광 모델링	AJ	공동	SCI	국제공동
36	논문	Dennis Zaritsky	Globular cluster populations: Results including S4G Late-type galaxies	ApJ	공동	SCI	국제공동
37	논문	권유나	Monitoring Observations of the Jupiter-family Comet 17P/HOLMES during its 2014 Perihelion Passage	ApJ	공동	SCI	국제공동
38	논문	김재영	대마젤란 은하 북동쪽 영역의 근적 외선 편광목록	ApJS	주저자	SCI	
39	논문	정웅섭	ADF-S 영역에서 KMTNet으로 적외선 은하들에 대한 광학탐사	JKAS	주저자	국내 SCI	
40	논문	Sriram K.	Study of a Sudden QPO Transition Event in the Black Hole Source XTE J1550-564	ApJ	공동	SCI	국제공동
41	논문	정민섭	Polarimetric Properties of the Reiner Gamma Swirl	PASJ	주저자	SCI	국제공동

3. 국제학술발표 실적

번호	저자명 (주저자)	발표제목	학회명	발표일	개최지
1	조경석	Minor and Major Geomagnetic Storms driven by Similar CMEs	Science for Space Weather	'16.01.26	인도
2	Pankaj Kumar	Reflecting MHD Waves in Coronal Arcade Loops	International Indo-UK conference on MHD Waves	'16.02.24	인도
3	조경석	Session 1: Geoeffective solar activities invited talk	International GEMSIS workshop	'16.03.14	일본
4	김수진	Initiation of Explosive Solar Eruption observed by Nobeyama Radioheliograph, RHESSI, and SDO/AIA	ALMA-IRIS-DKIST workshop	'16.03.15	미국
5	김록순	Prediction of long-term solar activities based on fractal dimension method	space Climate Symposium	'16.04.04	미국
6	김연환	Simultaneous observations of hot explosions by NST and IRIS (invited)	IRIS-7 workshop	'16.04.15	중국
7	박재홍	Small-scale magnetic field fluctuations in the low-/mid-latitude nighttime ionosphere	AGU Chapman conference	'16.05.26	크로아티아
8	김수진	Nonthermal emission initiating explosive solar eruption observed by SDO/AIA, RHESSI, and Nobeyama Radioheliograph	VarSITI	'16.06.06	불가리아
9	이병석	Source Locations of CME-driven Type II Radio Bursts	VarSITI	'16.06.06	불가리아
10	황정아	Prediction model of the outer radiation belt considering local acceleration effect by chorus waves	VarSITI	'16.06.08	불가리아
11	조경석	Case studies on connection of CME and interplanetary conditions: September 2014 and March 2015 events	VarSITI	'16.06.08	불가리아
12	박재홍	Monitoring the high-latitude ionosphere by Science and Technology Satellite-I of Korea	VarSITI	'16.06.09	불가리아
13	임은경	SEries of flares and associated jet-like eruptions observed by NST and SDO, poster	IRIS-6: The Chromosphere	'16.06.20	스웨덴
14	양태용	First report of the afternoon E-region plasma density irregularities in middle latitude	CEDAR-GEM	'16.06.21	미국

15	이재진	Electron pitch angle diffusion coefficients derived low altitude satellite observations	CEDAR-GE M	'16.06.21	미국
16	김록순	Prediction of lone-term solar activities based on fractal dimension method	SHINE conference	'16.07.11	미국
17	장수정	Relationship between halo CME 3D parameters and its associated flare ones	SHINE conference	'16.07.11	미국
18	박재홍	Plasma density irregularities in the topside ionosphere	2nd International Conference and Exhibition on Satellite & Space Missions	'16.07.22	독일
19	곽영실	Relative Contributions of Heating and Momentum Forcing to High-Latitude Lower Thermospheric Winds	AOGS 2017	'16.08.03	중국
20	Nai-Hwa Chen	Relationship between the intensity of type II radio bursts and coronal shock strength	URSI meeting	'16.08.24	서울
21	황정아	Transfer of Real-time Dynamic Radiation Environment Assimilation Model (rtDREAM); Research to Operation	URSI meeting	'16.08.24	서울
22	임은경	Formation of a Large-Scale Quasi-circular Flare Ribbon Enclosing Three-ribbon Structure Through Two-step Eruptive Flares	Hinode-10 Science Meeting	'16.10.05	일본
23	황정아	Relativistic electron flux forecast at geostationary orbit using multiple linear regression model	2016 The 4th AOSWA Workshop	'16.10.24	제주도
24	조경석	KASI's Contributions to Space Weather	2016 The 4th AOSWA Workshop	'16.10.24	제주도
25	Vasyl Yurchyshyn	Probing the maximum coronal mass ejection speed index as a potential indicator of geoeffectiveness of solar activity	2016 The 4th AOSWA Workshop	'16.10.24	제주도
26	이재진	Magnetosphere/Ionosphere study with formation flying nanosats	2016 The 4th AOSWA Workshop	'16.10.24	제주도
27	김록순	Prediction of long-term solar activities based on fractal dimension method	2016 The 4th AOSWA Workshop	'16.10.24	제주도
28	곽영실	Occurrence climatology of E- and F-region field-aligned irregularities in the middle latitudes as observed by the Daejeon 40.8 MHz coherent scatter radar in South Korea	2016 The 4th AOSWA Workshop	'16.10.24	제주도

29	이재우	Observational test of Earth's bow shock locations from gasdynamics and magnetohydrodynamics during low Alfven Mach number conditions	2016 The 4th AOSWA Workshop	'16.10.24	제주도
30	황정아	Electrostatic upper-hybrid waves and energetic electrons in the Earth's radiation belt	2016 AGU fall meeting	'16.12.14	미국
31	이재진	Electron Microbursts observed by formation flying nanosats	2016 AGU fall meeting	'16.12.15	미국
32	곽영실	Electrostatic upper-hybrid waves and energetic electrons in the Earth's radiation belt	2016 AGU fall meeting	'16.12.16	미국
33	Nai-Hwa Chen	Analysis of the steady-state eddy available energy budget in the high-latitude lower thermosphere	2016 AGU fall meeting	'16.12.16	미국
34	Nai-Hwa Chen	Jetting traced into the Heliosphere	UCSD IPS workshop	'16.12.18	미국
35	김명진	DEEP-South: Round-the-Clock Physical Characterization and Survey of Small Solar System Bodies in the Southern Sky	Binaries in the Solar System-4	'16.6.	체코
36	문홍규	DEEP-South: Preliminary Lightcurves of Near Earth Asteroids from the First Year Operation	DPS 2016	'16.10.	미국
37	노동구	DEEP-South: A New Concept of Feature-based Asteroid Taxonomy in 3D Parameter Space	DPS 2016	'16.10.	미국
38	김명진	Optical observations of NEA 162173 Ryugu (1999 JU3) during the 2016 apparition	DPS 2016	'16.10.	미국

4. 공동연구 및 협력 실적

4-1. 대내외 대표 협력연구 실적

연구·사업협력 파트너	수행형태	연구·사업협력 내용(목표)	수행 결과
○ Hyosub Kil (미국 Johns Hopkins 대학)	공동연구	전리권 OI 630.0 nm의 방출량 고갈과 MSTID와의 관련성 연구	○ JGR(SCI)에 논문 게재
○ 채종철 (서울대)	공동연구	○ NST FISS와 IRIS 관측을 통해 흑점위에서 강한 하강류에 대한 채총의 진동현상 연구	○ ApJ(SCI)에 논문 게재
○ V. Yurchyshyn (미국 NJIT/BBSO)	공동연구	○ NST와 IRIS의 공동관측을 통해 transition region에서 관측되는 penumbral dot의 다파장 관측 연구	○ ApJ(SCI)에 논문 게재

4-2. 워크숍/국제 학술회의 개최 실적

번호	명칭	주요 내용	규모			개최장소	지원(소요) 금액(천원)
			참가국	인원	기간(일)		
1	2016 극지구 우주환경 워크숍	근지구 우주환경 분야 국내 연구동향 파악과 이 분야 연구발전 방향 수립 (주관: 극지연구소, 한국천문연구원, 한국우주과학회/태양우주환경분과 공동)	국내	72명	2016년 7월 6-7일	극지연구소	

4-3. MoU 체결

체결년월 (YYYY,MM)	체결명	MoU 체결기관	MoU 체결 대상국
2016. 2. 11	Statement of Intent on Korea Astronomy and Space Science Institute's Participation in International Asteroid Warning Network	National Aeronautics and Space Administration (Chair, UN International Asteroid Warning Network)	미국 (UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)

5. 기타 실적

5-1. 연구기반 조성 및 홍보

<소형 적외선 탑재체 언론보도>

- 차세대소형위성1호 근적외선영상분광기 NISS 비행모델 제작 및 시험
- 과학기술위성3호 MIRIS 자료처리 파이프라인 구축
- NASA sounding rocket 실험 적외선우주배경복사 CIBER2 전자부 및 지상장비 개발 완료
- 적외선 관측자료 분석 과학연구로 보도자료 (2016.1.18.)



<자료문의>

☎ 042-865-3204 한국천문연구원 우주과학본부 우주천문그룹장
정용섭

대마젤란은하 내 별탄생 영역에 대한 자기장 분포를 보여주는 근적외선 편광목록 공개

<태양계 소천체 언론보도>

연번	날짜	기사명	언론사	인터뷰
1	2016. 1. 21	9번째 태양계 행성, 진짜 있을까	동아사이언스	최영준
2	2016. 1. 22	지구보다 10배 큰 '9번째 행성'… 정체는?	YTN	최영준
3	2016. 1. 26	우리가 먼저 그들을 찾아내야, 도널드 여맨스의 우주의 여행자	뉴시스	문홍규
4	2016. 1. 30	[새 책] 우주의 여행자: 소행성과 혜성, 지구와의 조우	국제신문	문홍규
5	2016. 2. 5	[신간 리뷰] 경이롭고도 치명적인 골칫덩이, '소행성과 혜성'의 비밀	MTN	문홍규
6	2016. 2. 27	아홉 번째 행성을 찾아서	동아사이언스	최영준
7	2016. 3. 18	뉴허라이즌호 명왕성의 속살을 벗기다	매일경제	최영준
8	2016. 3. 22	역사상 세 번째로 지구 가까이 다가오는 혜성 '팬스타즈'	YTN	문홍규
9	2016. 4. 8	영하 195도 혜성에서도 생명체 유전물질 합성	연합뉴스	문홍규
10	2016. 5. 10	[과학을 읽다] 수성이 태양 앞 '스스륵'… 100년에 13번뿐	아시아경제	문홍규
11	2016. 5. 12	케플러 망원경, '지구 닮은 행성' 550개 찾았다	조선일보	최영준
12	2016. 5. 18	내 안에 물 있다" 외계생명 단서 짐 목성, 위성들	서울경제	최영준
13	2016. 6. 21	지구 인력에 소행성 끌려와 '미니문'으로	KBS	최영준
14	2016. 7. 26	대전시립미술관 오늘 학술컨퍼런스	금강일보	문홍규
15	2016. 7. 1	D-45susaksdp 목성도착하는NASA'주노'탐사선	동아사이언스	최영준
16	2016. 7. 1	구름장막 뒤에 꼭꼭 숨은 '주피터' 실제 밝혀낼까?	동아일보	최영준
17	2016. 7. 4	목성 궤도 진입 앞둔 탐사선 주노, 목성 비밀 밝혀낼까?	YTN	최영준
18	2016. 7. 5	주노, 목성 궤도 진입… 우주 탄생 비밀 풀리나?	TV 조선	최영준
19	2016. 7. 5	NASA 탐사선 '주노', 5년만에 목성 궤도 진입… 우주 탄생 비밀 풀리나?	한국경제	최영준
20	2016. 7. 5	탐사선 주노, 목성 궤도 안착… 목성의 어떤 비밀 풀까?	중도일보	최영준

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

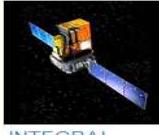
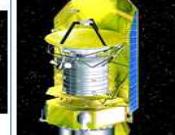
21	2016. 7. 5	주피터의 아내 '주노' 28km 5년 날아 남편 품으로	매일경제	최영준
22	2016. 7. 5	27억km 날아 목성 궤도 안착 성공... 주노 어떤 임무 맡았나	동아일보	최영준
23	2016. 7. 5	'주노' 탐사선, 5년만에 목성 궤도 진입	디지털타임스	최영준
24	2016. 7. 5	우주과학이 만든 인연... 주노, 주피터 품에 안기다	매일경제	최영준
25	2016. 7. 5	태양계 생성 비밀 밝힐 인류 도전 시작... 목성 탐사선 '주노' 궤도 안착	조선비즈	최영준
26	2016. 7. 6	주노, 원자력 전지 없이 태양전지판만으로 목성 여행	전자신문	최영준
27	2016. 7. 6	59개월간 28억km 날아간 주노, 목성 해 있는지 밝힌다	중앙일보	최영준
28	2016. 7. 6	주노, 전자레인저도 못돌릴 전기로 임무수행	YTN	최영준
29	2016. 7. 12	NASA 20조원씩 50년 투자... "대중 소통없이는 불가능"	대덕넷	문홍규
30	2016. 7. 16	남편의 50km 구름층엔 태양계 최초 물질... 생명 기원 알려줄까	서울신문	최영준
31	2016. 7. 19	[과학을 읽다] 인류의 태양계 탐험... 어디까지 왔나	아시아경제	문홍규
32	2016. 7. 22	[Science &] 인류 최후의 날은 어떤 모습으로 다가올까	매일경제	문홍규
33	2016. 8. 11	"달착륙 45주년 기념쇼?" 1월 1000년 미니문	한국경제	최영준
34	2016. 8. 15	[주간밸리] '영화 속 과학 이야기': 마션' 강연 등	대덕넷	문홍규
35	2016. 8. 19	[Science&] '태양계 가족'서 뇌출된지 10년... 끝나지 않은 명왕성 자격논란	매일경제	최영준
36	2016. 8. 26	영화 '아바타'처럼... '우주광산' 사업 현실화	동아일보	문홍규
37	2016. 9. 1	주노, 목성 궤도 진입 성공과 의미	KTV	문홍규
38	2016. 9. 8	[앵커&리포트] "지구충돌 막아라"..."소행성 탐사선 내일 발사	KBS	문홍규

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 근지구 우주공간 변화 연구를 통하여 자기권/전리권 폭풍 발생에 결정적인 영향을 미치는 물리적 인자를 찾아내고, 이를 기반으로 국제적으로 경쟁력 있는 우주환경예보 모델을 독자적으로 개발하는데 기여한다.
2. 근지구 우주공간에서의 격변현상에 대한 물리적 이해와 그 현상에 대한 예측이 가능해짐에 따라 근지구 우주공간인 자기권 및 전리권/고층대기의 급격한 변화로 인해 발생하는 위성수명단축, 위성운용 및 지상 전력망/통신망 장애, 방사선 피폭, 통신교란 등의 경제적 손실을 예방하는데 기여한다.
3. 안정적인 우주 탐사 수행을 위한 근지구 우주공간 정보를 제공한다.
4. 근지구 우주공간 변화에 대한 연구결과를 국제학술대회 및 전문저널에 지속적으로 발표함으로써 과학적 지식을 확대한다.
5. 최근 한국측에서 SPICA 적외선 우주망원경의 기술적 참여가 어려워진 한편, 미국 NASA SMEX 미션의 SPHEREx나 WFIRST 미션에의 기술적 참여를 위해서 다양한 노력이 이루어지고 있다.
6. 우주탑재용 적외선 광학계는 일단 광학계와는 달리 특수한 환경에서 동작되는 만큼 많은 제약조건을 만족시켜야하고, 발사와 궤도에서의 혹독한 환경을 견딜 수 있게 설계 및 제작이 되어야 한다. 궤도상에서 유지 및 보수가 사실상 불가능하기 때문에 엄격한 성능측정과 검교정이 뒤따라야 한다. 국제협력을 통해 우주망원경 원천기술이 확보된다면, 국가중장기 우주개발계획상의 한국주도 우주망원경에 직접 이용이 가능할 것으로 판단된다.
7. 이러한 높은 사양의 첨단 광학계의 개발 및 제작을 위해서는 특수한 광학면과 기계구조부의 초정밀가공이 이루어져야하며, 이러한 수요창출로 인하여 광학 및 기계구조부 관련 연구기관 및 민간기업의 발굴을 가능하게 할 것이며, 파트너로서 지속적인 연구개발을 통해 역량이 강화될 것으로 예상된다. 예를 들면, 지난 과학기술위성 3호 주탑재체 MIRIS 개발에 참여했던 (주)그린광학의 경우, 현재까지 천문연과 파트너쉽을 유지하고 있으며, 그동안 쌓인 노하우를 가지고, 민군사업과 차세대소형위성 탑재체 NISS 사업에도 계속 참여중이다. 또한, 분광기의 핵심요소인 분광격자를 국내에서 직접 가공가능성에 대해서도 사전연구가 진행중이며, 예를 들어, 한국나노팹의 경우 충분한 능력을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 일본 ISAS/JAXA에서는 적외선 우주망원경 AKARI (ASTRO-F)를 발사 및 운용하여 근, 중적 외선 연구분야에서 많은 과학적인 성과를 도출
2. 일본 ISAS/JAXA에서는 국제협력으로 3m급 차세대 대형 적외선 우주망원경으로 SPICA 프로젝트를 진행중
3. 유럽 ESA에서는 3m급 적외선 우주망원경 Herschel을 발사 및 운용하였으며, 이를 통해 많은 과학적 성과를 창출하고 있음
4. 유럽 ESA에서는 2015~2025년도 차세대 천문우주과학에 대한 계획 수립을 위한 'Cosmic Vision' 을 만들고 있는데, 이중 하나의 후보로 'EUCLID' 프로젝트를 선정하여 진행중임.
5. 미국 NASA에서는 근적외선에서 최적화된 차세대 6m급 적외선 우주망원경인 JWST를 추진 중임.

ESA					
	INTEGRAL (2002)	XMM-Newton (1999)	GAIA (2013)	Herschel (2009)	Planck (2009)
NASA					
	Fermi (2008)	Swift (2004)	HST (1990)	JWST (2018)	WMAP (2001)
	Gamma-ray	X-ray	UV	Visible	IR
					Microwave

제 7 장 연구시설·장비현황

1. 적외선 광학계 및 분광기의 성능측정과 검교정을 위해서 필요한 장비현황은 아래와 같다.
2. 연구개발이 진행되면서 이와 같은 장비들이 직접 도입되거나, 최소한 협력기관에서 이용이 가능하여야 한다.
3. 적외선용 적분구 (IR integrating sphere): 적외선 센서의 균일성을 측정하거나 적외선 광학계의 검교정을 위해서 필수적으로 필요하다. 적외선 파장에서 균일한 등방성 빛을 넣어줘야하기 때문에 내부는 내구성이 좋은 Au 코팅이 되어야하며, 개발하고자하는 광학계의 구경에 비례하여 출력개구의 크기도 고려되어야 한다.



< 적외선용 적분구 >

4. 검교정된 적외선용 센서: 적외선 파장대에서 정밀한 절대값 보정을 위해 필요한 파트이다. 커스텀하게 제작되어 절대값들을 측정하는 것이 필요하다.
5. Goniometer (반사도 측정기): 적외선 재료, 페인팅 등에 대한 반사도를 측정하기 위해서 필요한 장비이다. 기기 목적에 따라 디자인되어 제작 되는 것이 필요하다.

제 8 장 참고문헌

- Bae, Y. H., Byun, Y.-K., Kang, Y.-W., Park, S.-Y., Oh, S. Y., Han, W., Yim, H.-S., & Moon, H.-K. 2005, JASS, 22, 393
- Bottke, W. F., Vokrouhlicky, D., & Nesvorný, D. 2007, Nature, 449, 48
- Bowell, E., Chapman, C. R., Gladie, J. C.; Morrison, D.; Zellner, B., 1978, Taxonomy of asteroids, Icarus, 35, 313–335
- Carvano, J. M., Hasselmann, P. H., Lazzaro, D., & Mothe-Diniz, T. 2010, A&A, 510, 43
- Chapman, C. R., & Durda, D., 2001, Asteroid/Comet Impact Hazard: A Systems Approach, NASA/ARC, Moffet Field, 60
- Chernova, G. P.; Kiselev, N. N.; Jockers, K., 1993, Polarimetric characteristics of dust particles as observed in 13 comets – Comparisons with asteroids, Icarus 103, 144–158
- Clegg, Ryan N.; Jolliff, Bradley L.; Robinson, Mark S.; Hapke, Bruce W.; Plescia, Jeffrey B., 2014, Effects of rocket exhaust on lunar soil reflectance properties, Icarus, 227, 176–194
- DeMeo, F. E. & Carry, B, 2014, Solar System Evolution from Compositional Mapping of the Asteroid Belt, Nature, 505, 629
- Dollfus, A., 1998, Lunar Surface Imaging Polarimetry: I. Roughness and Grain Size, Icarus, Volume 136, Issue 1, pp.
- Garrick-Bethell, Ian, Head, James W., Pieters, Carle M., 2011, Spectral properties, magnetic fields, and dust transport at lunar swirls, Icarus, 212, 480–492 69–103
- Hapke, B.; van Horn, H., 1963, Photometric studies of complex surfaces, with applications to the Moon, JGR, 68, 4545–4570
- Hood, L. L. Schubert, G., 1980, Lunar magnetic anomalies and surface optical properties, Science, 208, 49–51
- Jeong, M., Kim, S., Garrick-Bethell, I., Park, S.-M., Sin, C.-K., Jin, H., Min, K. W. and Choi, Y.-J., 2016, Astrophysical Journal Supplement Series, 221, 1–18
- Jeong, M., in preparation
- Kassaleinen, M., Torppa, J. & Piironen, J. 2002, ICARUS, 159, 369–395
- Kaydash, V., Shkuratov, Y., Korochkin, V., Videen, G., 2011. Photometric anomalies in the Apollo landing sites as seen from the Lunar Reconnaissance Orbiter, Icarus 211, 89–96
- Kim, M.-J., Choi, Y.-J., Moon, H.-K., et al. 2014, AJ, 147, 56
- Kim, M.-J., Moon, H.-K., Choi, Y.-J., Yim, H.-S., Bae, Y.-H., Roh, D.-G., Park, J. T., Moon, B., & the DEEP-South Team, Asteroids: New Observations, New Models, Proc. IAU Symposium No. 318, in press
- Kim, S.-L., Park, B.-G., Lee, C.-U., Yuk, I.-S., Han, C., O'Brien, T., Gould, A., Lee, J. W., & Kim, D.-J. 2010, Ground-based and Airborne Telescopes III, 7733, 77333F
- Korochkin, V. V. and Velikodsky, Y. I. 2005, Studying the Phase Dependence of Lunar Surface Brightness Using Data of Integral Observations, SoSyR, 39, 45

- Kryszczynska, A., Colas, F., Polinska, M., et al. 2012, A&A, 546, 72
- Mainzer, A., Bauer, J., Grav, T., Masiero, J., Curti, R. M., Dailey, J., Eisenhardt, P., McMillan, R. S., Wright, E., & Walker, R. 2011, ApJ, 731, 53
- Masiero, J. R., Mainzer, A. K., Grav, T., et al. 2011, ApJ, 741, 68
- Masiero, J. R., Mainzer, A. K., Grav, T., et al. 2012, ApJ, 759, 14
- Moon, H. K., Kim, M. J., Yim, H. S., Choi, Y. J., Bae Y. H., Roh, D. G., Park, J., Moon, B., & the DEEP-South Team 2015, Asteroids: New Observations, New Models Proc. IAU Symposium No. 318, in print
- Nesvorný, D. 2010, Nesvorný HCM Asteroid Families V1.0, EAR-A-VARGBDET-5-NESVORNYFAM-V1.0, NASA Planetary Data System
- Park, B.-G., Kim, S.-L., Lee, J. W., Lee, B.-C., Lee, C.-U., Han, C., Kim, M., Moon, D.-S., Moon, H.-K., Rey, S.-C., Sung, E.-C., & Sung, H. 2012, Ground-based and Airborne Telescopes IV, Proc. of the SPIE, 8444, 47
- Parker, A., Ivezić, Z., Juric, M., Lupton, R., Sekora, M. D., Kowalski, A, 2008, The size Distributions of Asteroid Families in the SDSS Moving Object Catalog 4, Icarus, 198, 138
- Pieters, C. M. Fischer, E. M. Rode, O. Basu, A., 1993, Optical effects of space weathering: The role of the finest fraction, JGR, 98, 20,817–20,824
- Pieters, C. M., Taylor L. A., Noble, S. K., Keller, Hapke, Morris, Allen, McKay, Wentworth, 2000, Space weathering on airless bodies: Resolving a mystery with lunar samples, Meteoritics & Planetary Science, vol. 35, no. 5, pp. 1101–1107
- Pravec, P., Harris, A. W., & Michalowski, T. 2002, in Asteroid III, ed. W. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, & R. Binzel (Tucson, AZ: Univ. Arizona Press), 113
- Slivan, S. M., Binzel, R. P., Crespo da Silva, L. D., et al. 2003, Icarus, 162, 285
- Slivan, S. M., Binzel, R. P., Kaasalainen, M., et al. 2009, Icarus, 200, 514
- Shevchenko, V. V. and Skobeleva, T. P., 1995, The distribution of fine fraction of lunar soil obtained by remote sensing., Solar System Research, Vol. 29, No. 1, p. 74 - 81
- Shkuratov, Y. G. 1981, Connection Between the Albedo and Polarization Properties of the Moon – Fresnel Component of Reflected Light, Soviet Astronomy, Vol. 25, P. 490, 1981
- Shkuratov, Y. G., Opanasenko, N., Zubko, E., 2007, Multispectral polarimetry as a tool to investigate texture and chemistry of lunar regolith particles, Icarus, 187, 406
- Shkuratov, Yuriy; Kaydash, Vadym; Sysolyatina, Xenija; Razim, Alexandra; Videen, Gorden, 2013, Lunar surface traces of engine jets of Soviet sample return probes: The enigma of the Luna-23 and Luna-24 landing sites, P&SS, 75, 28–36
- Schultz, P. H., Srnka, L. J., 1980, Cometary collisions on the moon and Mercury, Nature, 284, 22–26
- Taylor, Lawrence A.; Pieters, Carlé M.; Keller, Lindsay P.; Morris, Richard V.; McKay, David S., 2001, Lunar mare soils: Space weathering and the major effects of surface-correlated nanophase Fe, JGR, 106, 27985–28000
- Yim, H.-S., Kim, M.-J., Bae, Y.-H., Moon, H.-K., Choi, Y.-J., Roh, D.-G., Park, J. T.,

국가연구개발 보고서원문 성과물 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공·서비스 하는
연구보고서는 동의 없이 상업적 용도로 사용할 수 없습니다.

- Moon, B., & the DEEP-South Team 2015, Asteroids: New Observations, New Models, Proc. IAU Symposium No. 318, in press
- Zadnik, J. A. and Beletic, J. W, 1998, Effect of CCD readout Noise in Astronomical Speckle Imaging, Applied Optics 37, 2, 361–368
- Zellner, B., Gradie, J, 1976, Minor planets and related objects. XX – Polarimetric evidence for the albedos and compositions of 94 asteroids AJ, vol. 81, Apr. 1976, p. 262–280

주 의

1. 이 보고서는 한국천문연구원에서 시행한 2016년도 주요사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 한국천문연구원에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.