

적외선 우주배경복사 관측 실험 2(CIBER2) 국제 공동 연구 KOREAN PARTICIPATION ON THE COSMIC INFRARED BACKGROUND EXPERIMENT 2 (CIBER2)

이대회¹, 박원기¹, 문봉곤¹, 박성준¹, 김민규², 김건희³, 남옥원¹, 표정현¹, 정웅섭¹,
박영식¹, 김일중¹, 한원용¹

¹한국천문연구원, ²서울대학교, ³한국기초과학지원연구원

D. -H. LEE¹, W. -K. PARK¹, B. -G. MOON¹, S. -J. PARK¹, M. -G. KIM², G. -H. KIM³, U. -W. NAM¹, J. PYO¹,
W. -S. JEONG¹, Y. -S. PARK¹, I. -J. KIM², AND W. HAN³

¹Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

²Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

³Korea Basic Science Institute, Daejeon, 305-333, Korea

E-mail: dhlee@kasi.re.kr

(Received October 30, 2014; Revised December 01, 2014; Accepted December 25, 2014)

ABSTRACT

First light galaxies have predictable linear clustering, and are expected to produce fluctuations with a characteristic spatial power spectrum, which peaks at an angular scale of ~ 10 arcminutes and in the $1-2 \mu\text{m}$ spectral regions. The Cosmic Infrared Background Experiment 2 (CIBER2) is a dedicated sounding rocket mission for measuring the fluctuations in the extragalactic infrared background light, following up the previous successful measurements of CIBER1. With a 28.5 cm telescope accompanied with three arms of camera barrels and a dual broadband filter on each H2RG ($\lambda_c = 2.5 \mu\text{m}$) array, CIBER2 can measure 6 bands of wide field (1.1×2.2 degrees) up to 3 AB magnitudes deeper than CIBER1. This project is led by California Institute of Technology/Jet Propulsion Laboratory, collaborating internationally with Institute of Space and Astronautical Science in Japan, Korea Astronomy and Space Science Institute, Korea Basic Science Institute, and Seoul National University. The Korean team is in charge of 1) one H2RG scientific array, 2) ground station hardware and software, 3) telescope lenses, and 4) flight and test bed electronics fabrication. In this paper, we describe the detailed activities of the Korean participation as well as the current status of the CIBER2 project.

Key words: cosmic background, infrared, instrument, sounding rocket

1. 서론

CIBER2(Cosmic Infrared Background Experiment 2)는 2009년부터 2013년까지 4차례에 걸쳐 성공적으로 발사된 CIBER1의 후속 과제로써 미국 NASA의 과학로켓에 근적외선 망원경을 탑재하여 근적외선($1-2 \mu\text{m}$) 영역에서의 우주배경복사를 관측함으로써 우주 초기의 별 및 은하에 대한 연구를 수행하려는 목적을 가지고 있다 (LEE et al., 2006; Bock et al., 2006).

은하외부 배경복사(Extragalactic Background Light, EBL)에는 우주가 진화하면서 남긴 역사적 흔적이 남아 있다. 우주 최초의 은하들에서 발생한 자외선 또는 가시광선 파장의 광자들은 오늘날 근적외선 영역의 EBL에서 관측되는데, 이러한 우주 최초의 은하들에 대한

직접적인 관측은 황도광과 같은 전경(foreground) 잡음 때문에 어려우나, 공간적 비등방성을 이용한 spatial power spectrum을 이용하면 관측이 가능하다(Cooray & Yoshida, 2004; Kashlinsky et al., 2005). 즉, 적외선 파장 대역에서 관측되는 우주배경복사의 요동은 초기 우주가 재이온화되는 시기에 존재하였던 우주 최초의 별 또는 은하에서 기원하며, 이 적외선우주배경복사 관측을 위해서는 배경의 잡음이 되는 별, 은하, 황도광 등을 제거한 나머지 희미한 배경을 검출해야 하므로 광시야, 고감도로 광학에서 근적외선까지 다파장으로 관측하는 기능이 필요하다.

CIBER1 프로젝트는 2006년부터 2013년까지 캘리포니아 공과대학/제트추진연구소(Caltech/JPL, California Institute of

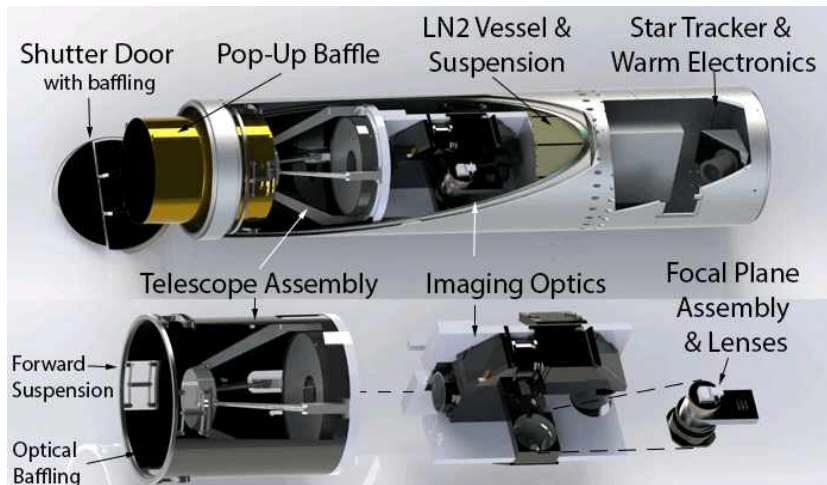


Figure 1. Conceptual design of CIBER2 instrument.

Technology/Jet Propulsion Laboratory), 일본의 우주과학연구소(ISAS, Institute of Space and Astronautical Science), 그리고 한국천문연구원(KASI, Korea Astronomy and Space science Institute) 등이 주축이 되어 진행하였던 국제 공동 연구로서, 두 대의 광시야 카메라와 저분산 분광기, 그리고 고분산 분광기로 구성되어 있으며, 1차(2009. 2), 2차(2010. 7) 및 3차(2012. 3)를 미국 뉴멕시코주 화이트 샌드 미사일기지에서 성공적으로 발사하였고, 마지막으로 4차(2013. 6) 발사를 미국 Wallops 우주기지에서 수행하였다. CIBER1 기기에 대한 설명과 네 차례의 발사에 따른 연구 결과는 각각 Zemcov et al.(2013), Bock et al.(2013), Korngut et al.(2013), 및 Tsumura et al.(2013)에 기술되어 있다.

특히 CIBER1 저분산분광기 관측에 따른 황도광 연구 결과(Tsumura et al., 2010)를 발표하였고, CIBER1의 광시야 카메라를 이용한 근적외선 우주배경복사의 초과적인 광원을 관측하여 우주 초기 은하에 대한 새로운 모습을 제한한 논문을 Science지에 발표하였다(Zemcov et al., 2014).

본 논문은 CIBER2 프로젝트 및 기기 개발 현황을 한국에 소개하기 위해 2장에서 CIBER2 기기 및 과학적 목표를 나타내었고, 3장에서는 CIBER1에서 발견되었던 시스템 오차에 대한 대응 방안을 기술하였으며 4장에서는 CIBER2 개발에 있어서의 한국의 역할에 대하여 설명하였다.

2. CIBER2 기기 및 과학적 목표

2.1. 개요

CIBER2는 28.5 cm의 카세그레인 방식 주경에 광분배기를 사용하여 3대의 카메라가 장착되는 형상을 이루고

있으며 각 카메라에는 2K x 2K HAWAII-2RG(H2RG, 임계파장 $\lambda_c = 2.5 \mu\text{m}$) 검출기 위에 2개의 밴드 필터를 부착하여 0.6 - 2.1 μm 의 파장 대역을 6 개의 구간으로 나누어 관측한다. 각 밴드의 시야각은 1.1 x 2.2 도이다. Figure 1에서 Shutter Door는 로켓의 엔진이 분리된 후 관측을 위해 열리도록 되어 있으며, 이 때 Pop-up Baffle이 돌출되어 외부에서 들어오는 잡광을 차단하도록 되어 있다. CIBER2는 열잡음을 최소화하기 위해 저온용기 안의 액체질소(LN2)를 이용하여 절대 온도 ~ 80 K로 냉각된 상태에서 동작하며 고속 저잡음 전자부(Warm electronics)를 이용하여 관측 자료 저장 및 로켓에의 자료 전송을 수행한다. 초점면부분(Focal Plane Assembly) 안의 H2RG 적외선센서에서 32 채널의 출력 신호를 검출하여 전체를 읽어드리는데 총 1.34 초의 시간이 소요되며, CDS(Correlated Double Sampling) 방식으로(Lee et al., 2010) 읽을 때 12 e-의 전자 잡음이 검출됨을 확인하였다. 한편, 온도의 변이에 따른 적외선센서 암잡음의 변화를 막기 위하여 초점면부분 전체는 단열 설계되어 온도 변화가 10 $\mu\text{K/s}$ 이하로 유지되도록 하였다. Table 1에서는 CIBER2의 상세사양이 기술되어 있는데, 표시된 감도는 35초 동안 관측했을 때의 결과를 모델링 한 값이다.

2.2. CIBER1 vs. CIBER2

Figure 2에서 CIBER2의 기기 사양에 따라 시뮬레이션한 적외선 우주배경복사의 요동 관측을 CIBER1과 비교하여 나타내었다. CIBER2의 6개 밴드에 대해 한번의 관측 결과(밝은 초록)와 다수의 관측을 종합하여 약 3배의 감도를 얻은 결과(어두운 초록)를 보여준다. Figure에서 하늘색 영역은 조석 효과로 은하에서 떨어져 나온 별들의 빛(IHL, Inter-Halo Light)이며, 파란선,

Table 1. CIBER2 Instrument Specifications

Parameter	CIBER2						Units
Aperture	28.5						cm
Pixel size	4						arcseconds
Array	HgCdTe						
Format	2048 ²						pixels
FOV	1.1 x 2.2 for imager bands, 0.4 for LVF						degrees
Dark current	<0.05						e-/s
RN (CDS)	12						e-
Band	1	2	3	4	5	6	
λ	600	800	1030	1280	1550	1850	nm
$\Delta\lambda/\lambda$	0.33	0.25	0.24	0.20	0.20	0.16	
Array QE	0.90	0.80	0.83	0.81	0.82	0.82	
Optics QE	0.75	0.73	0.81	0.85	0.87	0.87	
Photo current	9.5	6.8	8.1	7.8	7.7	3.8	e-/s
ν_{IV}	525	450	400	380	320	224	nW m ⁻² sr ⁻¹
$\delta\nu_{IV} (1\sigma/\text{pix})$	38.0	44.8	33.9	30.6	25.0	23.0	
$\delta F\nu (3\sigma)$	21.5	21.1	21.0	21.0	21.0	20.9	AB mag

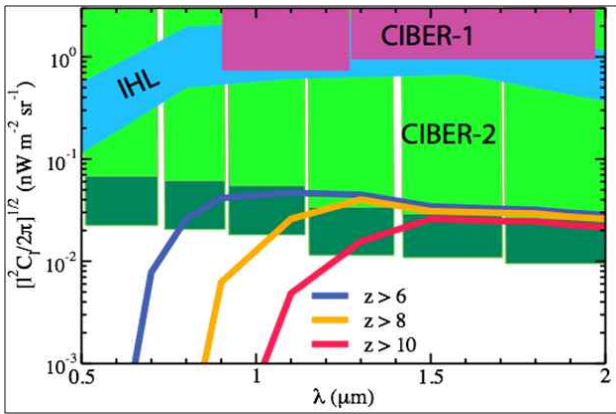


Figure 2. Depth reached by proposed CIBER2 fluctuation measurements in six bands between 0.5 and 2 μm and in a single power spectrum bin in the multipole space between $500 < l < 1500$, shown as green bands from the top. For reference, we show the level of IHL(blue band) and EOR signals at $z > 6$, > 8 and > 10 , in blue, orange and red lines, respectively (Bock, 2012).

노란선, 빨간선은 각각 $z > 6$, $z > 8$, $z > 10$ 일 때의 재이온화 시기(EOR, Epoch of Reionization)의 빛의 합을 시뮬레이션 한 결과이다(Bock, 2012).

2.3. 과학적 목표

CIBER2의 첫 번째 과학적 목표는 CIBER1로 관측한 적외선 우주배경복사의 요동을 가시광선 영역까지 확대하여 관측하는 것이다. 이 영역이 중요한 이유는 Figure 2와 같이 모델에 따른 EOR과 IHL 값이 가시광선 영역에서 더욱 분명히 구별되고, 다파장의 분광 정보가 IHL

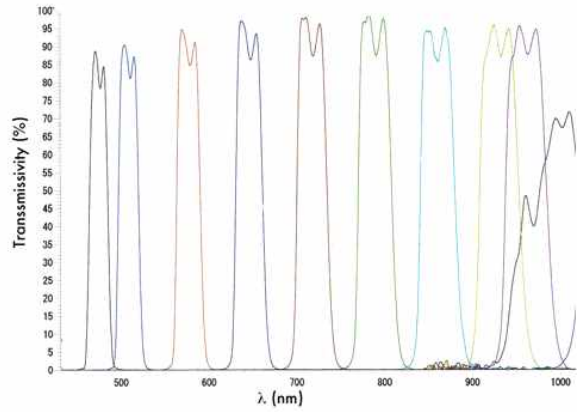


Figure 3. Transmissivity of Linear Variable Filter for short-wavelength transmission spectrum.

의 생성 역사에 대한 구체적 정보를 제공하기 때문이다. 두 번째 목표는 은하외부 배경복사 EBL의 정확한 절대 광량을 측정하는 것이다. CIBER1의 관측 결과에 따르면 EBL은 지금까지 알려진 외부 은하의 총합보다 큰 것으로 밝혀졌는데, CIBER2의 관측을 통해 그 값을 정확히 측정할 것이다. 마지막으로, CIBER2에는 6개의 광대역 밴드 이외에 선형분광필터(LVF, Linear Variable Filter)를 장착하여 $0.5 < \lambda < 2.0 \mu\text{m}$ 대역에서 파장별 측광을 수행함으로써 CIBER1의 LRS(Low Resolution Spectrometer)와 비교할 예정이다(Figure 3).

3. CIBER2 시스템 오차 제어

CIBER2 전체 하늘 밝기의 약 0.01% 정도 밖에 되지 않는 은하외부 배경복사 EBL의 정확한 요동을 측정해야 하므로 기기에서 유발하는 시스템 오차에 대한 제어가 매우 중요하다. Figure 4는 CIBER1의 1.6 μm 밴드로 관

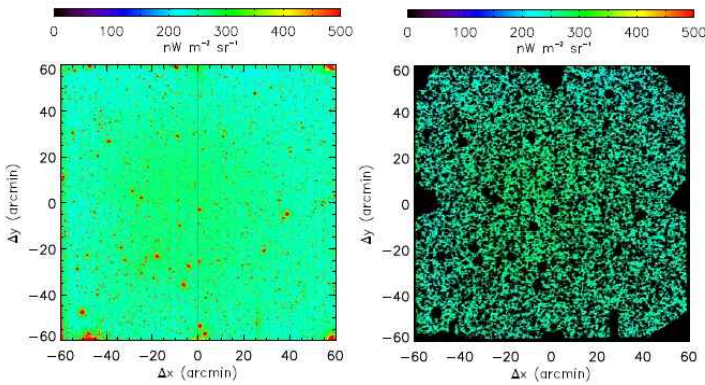


Figure 4. CIBER1 1.6 μm band images before flat fielding, source masking, etc. (left) and after image processing (right).

측한 영상으로, 균질도 보정, 점광원 제거 등 영상 처리를 하기 전과 영상 처리 후의 결과를 비교하여 보여 준다. CIBER1에서 보고되었던 시스템 오차들에 대한 대응 방안을 다음과 같이 기술하였다.

3.1. 센서 잡음(Detector noise)

CIBER2는 CIBER1과 달리 H2RG 적외선 센서를 사용하는데, 이 센서는 자체적인 기준 신호(reference output)를 사용하여 신호 검출 과정에서 발생하는 $1/f$ 잡음을 줄일 수 있어 매우 유리하다(Lee et al., 2013). H1RG, H2RG, H4RG 모두 기준 픽셀들이 관측 픽셀을 둘러싸고 있는데, 관측 영역의 좌우에 4열, 상하에 4열씩 있다. 이러한 기준 픽셀들은 인가된 전위나 온도 변화에 따른 미세 변동을 보정하거나, 저주파 잡음을 제거하는데 쓰인다. 이상적으로는 상하의 기준 픽셀들은 적외선 센서 전체 출력의 공통 오프셋을 제거하는데 쓰이고, 좌우의 기준 픽셀들은 특정 라인의 잡음을 제거하는데 쓰이는데, 그 이유는 같은 라인의 기준 픽셀은 관측 픽셀보다 불과 수 밀리초 이내에서 동시에 읽히기 때문이다. 우리는 기준 픽셀을 더 자주 이용하는 방법(Rauscher, 2011)을 사용하여 센서 잡음을 최소화 할 계획이다.

3.2. 영상 균질도(Flat field)

관측 영상의 미세한 균질도 차이는 배경복사 요동과 혼동될 수 있으므로 매우 중요한 오차 요소 중 하나이다. CIBER2에서는 다음과 같은 3단계의 에러 해결 전략을 사용한다. 1) 실험실에서 정밀한 영상 균질도를 측정하고, 2) 실제 관측에서 얻어진 균질 영상들을 중첩하여 관측 영상 균질도를 얻은 후, 3) 이 두가지를 이용하여 영상 균질도 오차가 최소화되는 영상 분석 방법을 찾는

것이다. CIBER2는 CIBER1보다 관측 감도가 약 3 AB 등급 정도 더 좋으므로 실제 관측 영상에서 얻은 영상 균질도도 보다 정확할 것으로 기대하고 있다.

3.3. 대기광(Airglow)

로켓이 대기권을 뚫고 올라가는 과정에서 로켓 자체에서 방출되는 탈기체(outgassing) 물질과 고도 225 km 미만에서 남아있는 공기는 로켓과의 충돌 과정에서 가열되어 적외선 빛을 내는데, 이것이 CIBER1의 큰 잡음 중 하나였다. 이를 제거하기 위해서 CIBER2에서는 돌출형 배플(pop-up baffle)을 사용하여 로켓 외곽에서 들어오는 대기광을 최대한 차단하였다(Figure 1 참조).

3.4. 잡광(Optical ghosting)

복잡한 광기계 시스템을 가진 CIBER2는 잡광이 생길 수 밖에 없는데, 우리는 광경로를 순방향으로 따라가는 잡광 해석과 센서 표면에서부터 역으로 따라가는 잡광 해석을 모두 수행하여 입사되는 잡광이 무시할 수 있을 정도로 작음을 확인하였다.

3.6. 점광원 제거(Source masking)

CIBER1과 달리 CIBER2는 점광원 관측 감도가 매우 높아 따로 별 카탈로그를 이용하지 않고 자체적으로 점광원 제거가 가능하며, $H = 19$ 등급까지 제거하면 총 픽셀의 최대 50%까지 제거된다. 다만 CIBER2 부경지지 구조물은 이미지 상에 회절 스파이크를 야기하는데, 이 부분을 제거하기 위해 좀 더 많은 수의 픽셀을 제거하게 된다. 계산 결과, 밝은 점광원에 대해서도 오직 5% 미만의 픽셀 수만 더 제거하면 되는 것으로 나타났다.

3.7. 천체에 의한 전경(Astrophysical foregrounds)

은하단(Galaxy clusters)은 주요한 천체 전경 잡음 요소이지만, 은하배경복사(Diffuse Galactic Light, DGL)와 황도광(Zodiacal Light, ZL) 또한 은하외부 배경복사에 영향을 줄 수 있다. 우리는 많은 필드 및 밴드 관측에 따른 교차상관(cross correlation) 추출 방법에 의해 DGL과 ZL을 효과적으로 제거하여 은하단 및 DGL, ZL에 의한 오차 요인을 제거할 것이다.

4. CIBER2에서의 한국의 역할

CIBER2 개발에서 한국의 역할은 크게 3가지이다. 1) 한 개의 H2RG 적외선 센서 제공 및 전자부 비행 모델 개발, 2) 지상 전자 장비 하드웨어, 소프트웨어 제공 및 시험 인력 제공, 3) 광학시스템 렌즈 등 광기계 부품 제공이다. 위에서 1)번과 2)번 항목은 한국천문연구원

서 미국 Caltech(캘리포니아 공과대학)과의 2011년 연구 협약(Memorandum of Understanding, MOU) 체결을 통해 추진하고 있고, 3)번은 한국기초과학지원연구원이 일본 우주과학연구소(ISAS)와의 연구협약(2014년) 체결 이후 지원될 예정이다.

4.1. CIBER2 전자부 개발

CIBER2 전자부는 크게 초점면부분 안에 있는 H2RG 적외선 센서와 초점면 전자회로(Focal Plane Board, FPB), 각각의 H2RG를 구동하고 읽은 영상 데이터를 HK (Housekeeping) 데이터와 함께 로켓의 TM(Telemetry) 시스템에 전달하고, 로켓에서 서터, 검교정 램프, 자세제어 신호 등을 받아 CIBER2를 조정하는 역할을 하는 명령부 전자회로(Command Board, CMD) 및 관측된 자료를 저장하고 지상에서 시험할 때는 지상전자장비(Ground Station Equipment, GSE)에 데이터를 전송하는 역할을 하는 데이터 저장부 전자회로(Data Storage Board, DS)로 나눌 수 있다.

한국천문연구원에서는 CIBER2 전자부의 H2RG 센서 1개를 공급하는 한편, 전자부의 저장부와, 지상 전자장비를 주도적으로 개발하며, H2RG 구동 전자부의 하드웨어/소프트웨어 개발에 참여할 예정이다. 특히 CIBER1과 달리 CIBER2는 생성되는 데이터양이 약 86 Mbps로써 로켓이 실시간으로 지상에 전송할 수 있는 용량(10 Mbps x 3 channel)보다 큰데, 이를 해결하기 위해 데이터 저장부 전자회로는 두 개의 128 Gbit 플래시 메모리를 장착하여 우주 관측 후 로켓을 회수한 뒤에 데이터를 읽어낼 예정이다.

4.2. 지상 전자 장비 개발

CIBER2의 데이터 획득 및 처리용 지상 전자 장비(GSE, Ground Station Equipment)는 다음의 세 가지 기능을 수행해야 한다.

- 실시간 대용량 자료 수집
- 자료 처리 및 영상 전시
- 로켓 시스템 모사

CIBER2의 적외선 센서에서 생성되는 총 데이터양은 32 채널에서 픽셀당 100 kHz의 속도로 읽는다면(32 ch x 3 bytes x 8 bits) x 100 kHz = 86 Mbps가 된다. 그런데 이를 안정적으로 읽어야 하므로 여유분을 고려하여 GSE는 최소한 100 Mbps의 직렬 데이터를 읽을 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 여기에 적외선 센서가 3개이므로 3개의 100 Mbps 직렬 통신 성능이 필요하다. 우리는 고속 SERDES 인터페이스와 광케이블을 사용함으로써 로켓이 발사 레일 위에 설치되어 100 m 이상의 거리가 떨어질 경우에도 안정적으로 지상 전자 장비로 자료가 전송될 수 있도록 하였다. GSE에서 운용되는

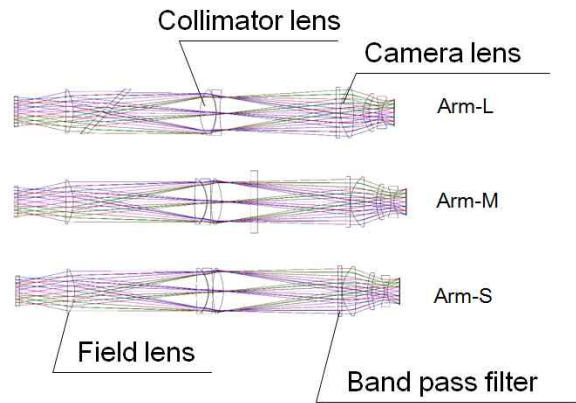


Figure 5. CIBER2 camera lens layout.

소프트웨어로써 LabWindows를 사용하여 데이터 수집하드웨어를 조정하는 동시에, Graphic User Interface (GUI)를 구현할 예정이다.

4.3. 광학 부품 가공

CIBER2에는 Figure 5와 같이 3 대의 카메라 시스템이 있다. 여기서 시야 렌즈(Field lens)는 Arm-L(2.0 - 1.4 μm), Arm-M(1.4 - 0.9 μm), Arm-S(0.9 - 0.5 μm)에 공통으로 사용되는 렌즈이며, 평행광 렌즈(collimator lens)는 Arm-M과 Arm-S가 같은 렌즈를 공유한다. 따라서, 카메라 시스템에 사용되는 렌즈의 숫자는 시야 렌즈 1개, 평행광 렌즈 2개, 카메라 렌즈 12개(4 x 3)로 모두 15개다. 한국기초과학지원연구원에서는 비구면이 포함되어 적외선 소자 렌즈들을 초정밀 가공하여 CIBER2에 활용할 예정이다.

5. 요약 및 일정

CIBER2는 28.5 cm의 주경에 3대의 적외선 카메라가 장착되는 기기으로써, NASA의 과학로켓에 탑재되어 근적외선 우주배경복사를 관측함으로써 우주 초기 별 및 은하에서 방출되는 빛의 스펙트럼과 공간적 분포를 연구할 계획이다. CIBER1의 경험을 바탕으로 시스템 오차 요소를 최소화하였으며, 새로운 적외선 센서 및 센서구동 기술을 사용하여 최적의 성능을 구현하도록 설계하였다. 미국 NASA 제트추진연구소, 일본 우주과학연구소와 공동으로 추진하는 이 프로젝트에 한국에서는 한국천문연구원과 한국기초과학지원연구원 그리고 서울대학교에서 참여하고 있다. 현재 CIBER2는 각 기기의 설계가 끝난 시점에서 제작을 진행 중에 있으며, 한국에서는 전자부 및 지상 전자 장비의 개발과 광기계 렌즈의 제작을 수행 중에 있다. 2015년에 조립, 시험 및 검교정을 거쳐 NASA에서 발사될 CIBER2 프로젝트는 국제

선도적인 관측 데이터를 제공하고, 첨단 우주 적외선 기술을 직접 개발함으로써 차후의 적외선 우주망원경 개발의 초석이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 협동연구과제인 “우주용 30 cm급 극저온 적외선 광기계 개발”의 일환으로 수행되었다.

REFERENCES

- Bock, J., Battle, J., Cooray, A., et al., 2006, The Cosmic Infrared Background Experiment, *New Astronomy Review*, 50, 215
- Bock, J., 2012, Assembling the Infrared Extragalactic Background Light with CIBER2: Probing Inter-halo Light and the Epoch of Reionization, *NASA Proposal*
- Bock, J., Sullivan, I., Arai, T., et al., 2013, The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): The Wide-field Imagers. *ApJS*, 207, 32
- Cooray, A. & Yoshida, N., 2004, First sSources in Infrared Light: Stars, Supernovae and Mini-quasars, *MNRAS*, 51, L71
- Kashlinsky, A., Arendt, R. G., Mather, J. & Moseley, S. H., 2005, Tracing the First Stars with Fluctuations of the Cosmic Infrared Background, *Nature*, 438, 45
- Korngut, P. M., Renbarger, T., Arai, T., et al., 2013, The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): The Narrow-Band Spectrometer *ApJS*, 207, 34
- Lee, D. H., Nam, U. W., Lee, S. H., Jin, H., Yuk, I. S., Kim, G. H., & S. Pak, 2006, International Cooperation of the Cosmic Infrared Background Experiment, *PKAS*, 21, 2
- Lee, D. H., Kim, M. G., Tsumura, K., et al., 2010, Analysis of Dark Data of the PICNIC IR Arrays in the CIBER, *JASS*, 27, 401
- Lee, D. H., Jeong, W. S., Moon, B., et al., 2013, Near-infrared Imaging Spectrometer for NEXTSat-1, *SDW Workshop*
- Rauscher, B. J., Arendt, R. G., Fixsen, D. J., Lindler, D., Loose, M., & Moseley, S. H., 2011, Reducing the Read Noise of H2RG Detector Arrays: Eliminating Correlated Noise with Efficient Use of Reference Signals, *AAS*, 43
- Tsumura, K., Battle, J., Bock, J., et al., 2010, Observations of the Near-infrared Spectrum of the Zodiacal Light with CIBER, *ApJ*, 719, 394
- Tsumura, K., Arai, T., Battle, J., et al., 2013, The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): The Low Resolution Camera, *ApJS*, 207, 33
- Zemcov, M., Arai, T., Battle, J., et al., 2013, The Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER): A Sounding Rocket Payload to Study the near Infrared Extragalactic Background Light, *ApJS*, 207, 31
- Zemcov, M., Smidt, J., Arai, T., et al., 2014, On the Origin of Near-Infrared Extragalactic Background Light Anisotropy, *Science*, 346, 732