

적외선검출기 READOUT CONTROLLER 개발**DEVELOPMENT OF THE READOUT CONTROLLER FOR INFRARED ARRAY**조승현^{1,2}, 진호¹, 남옥원¹, 차상목¹, 이성호¹, 육인수¹, 박영식¹, 박수종², 한원용¹, 김성수²¹한국천문연구원²경희대학교 우주과학과SEOUNGHYUN CHO^{1,2}, HO JIN¹, UK-WON NAM¹, SANG-MOK CHA¹, SUNGHO LEE¹, IN-SOO YUK¹,YOUNSIK PARK¹, SOOJONG PAK², WONYONG HAN¹, SUNGSOO S. KIM²¹Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: csh@kasi.re.kr

²Department of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University, Gyeonggi-do 446-701, Korea

(Received November 17, 2006; Accepted December 19, 2006)

ABSTRACT

We have developed a control electronics system for an infrared detector array of KASINICS (KASI Near Infrared Camera System), which is a new ground-based instrument of the Korea Astronomy and Space science Institute (KASI). Equipped with a 512×512 InSb array (ALADDIN III Quadrant, manufactured by Raytheon) sensitive from 1 to 5 μm , KASINICS will be used at J, H, Ks, and L-bands. The controller consists of DSP(Digital Signal Processor), Bias, Clock, and Video boards which are installed on a single VME-bus backplane. TMS320C6713DSP, FPGA(Field Programmable Gate Array), and 384-MB SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory) are included in the DSP board. DSP board manages entire electronics system, generates digital clock patterns and communicates with a PC using USB 2.0 interface. The clock patterns are downloaded from a PC and stored on the FPGA. UART is used for the communication with peripherals. Video board has 4 channel ADC which converts video signal into 16-bit digital numbers. Two video boards are installed on the controller for ALADDIN array. The Bias board provides 16 dc bias voltages and the Clock board has 15 clock channels. We have also coded a DSP firmware and a test version of control software in C-language. The controller is flexible enough to operate a wide range of IR array and CCD. Operational tests of the controller have been successfully finished using a test ROIC (Read-Out Integrated Circuit).

Keywords: near infrared, infrared camera, IR array controller

1. 서론

천문학에서는 태양계, 항성, 성간물질, 은하, 우주론 등 모든 분야에 걸쳐 적외선 관측 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 현재 개발 또는 추진 중인 3대 대형 우주망원경 JWST(미국), HSO(유럽), SPICA(일본)는 모두 적외선 관측을 목적으로 하고 있다. 이와 같이 근래에 적외선 관측연구가 가속화 될 수 있는 것은 안정적이며 잡음이 적은 적외선검출기의 개발이 이루어짐으로서 많은 적외선관측 기기들이 개발되어 사용될 수 있었기 때문이다.

하지만, 국내에서는 적외선 관측장비를 이용한 관측이 이루어지지 않고 있으며 적외선 우주망원경에 대한 기술 또한 확보되지 못하고 있는 실정이다. 이에 한국천문연구원에서는 단기적으로는 국내망원경을 이용한 적외

선관측기술을 확보하고 장기적으로는 적외선 우주망원경의 기술을 습득하여 대형 적외선우주망원경 개발에 참여하기 위한 첫발로서 지상망원경용 근적외선 카메라, KASINICS(KASI Near Infrared Camera System)를 개발하고 있다. KASINICS는 512×512 InSb 적외선검출기 (ALADDIN III Quadrant, Raytheon Co.) 를 사용하여 J, H, Ks, L밴드의 관측을 수행 할 예정이다 (Cha et al. 2006; 박수종 외 2004; 박수종 외 2005).

적외선검출기의 Readout을 위하여 SDSU III(Leach et al. 2000)와 같은 상용 컨트롤러를 사용할 수도 있었지만 다양한 영상검출기의 활용과 적외선관측기술의 기술습득을 위해 영상처리 컨트롤러를 자체 개발 하였다. 컨트롤러는 적외선검출기와 CCD처럼 바이어스와 클럭신호에 따라 동작하는 검출기의 구동에 다양하게 활용하기

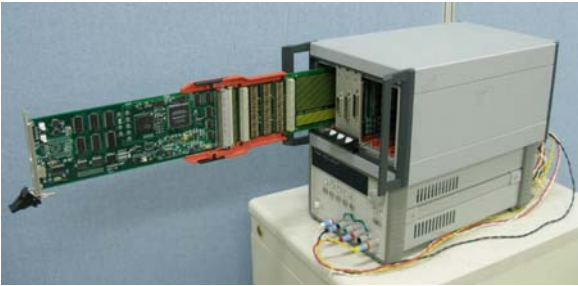


그림 1. 전자부박스와 전원공급장치의 사진

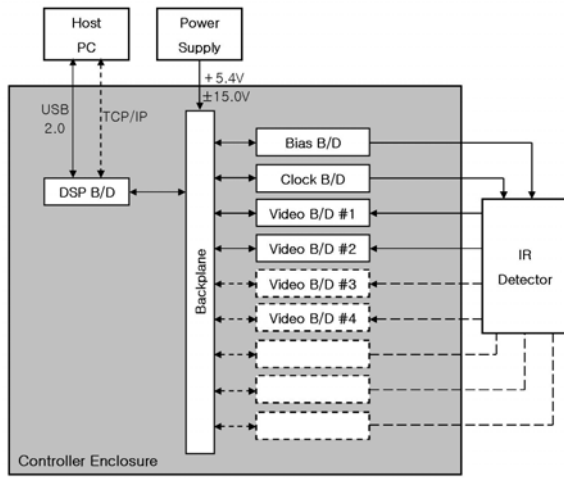


그림 2. 컨트롤러의 연결도

위해 범용으로 설계하였다. 컨트롤러의 제작은 완료된 상태이고 현재까지 컨트롤러의 최적화를 위하여 여러 차례의 동작시험과 냉각시험을 수행하며 가시광영역의 시험영상을 얻었다.

이 논문에서는, 컨트롤러를 구성하는 각 보드의 특징과 시험영상을 통한 컨트롤러의 운용결과를 소개한다.

2. 컨트롤러 설계 및 제작

2.1 설계개념 및 구성

새롭게 개발한 검출기 컨트롤러는 4종류의 전자보드, 전원부, 이들을 고정시키고 각 보드를 연결시키기 위한 전자부박스(Controller Enclosure)와 VME 연결판(Backplane)으로 이루어져 있다. 전자보드는 전체 컨트롤러를 관리하는 DSP보드, 바이어스(Bias) 전압을 공급하기 위한 바이어스

표 1. 검출기 컨트롤러의 소비 전력

Voltage	+5.4V	+15.0V	-15.0V
Current	1.51A	0.424A	0.369A
Power dissipation	8.154W	6.36W	5.535W
Total power dissipation	20.049W		

보드, 클럭(Clock) 신호 공급을 위한 클럭보드, 검출기의 영상 신호를 처리하기 위한 비디오(Video)보드로 구성되어 있다.

KASINICS에서는 512×512의 적외선검출기를 제어하기 위해 2장의 비디오보드와 각각 1장씩의 DSP보드, 바이어스보드, 클럭보드가 필요하여 총 5장의 전자보드를 사용한다. 전자보드는 최대 10장까지 확장이 가능하다. 각 보드의 연결과 전원공급은 전자부박스의 후면에 장착되어 있는 VME 연결판을 통하여 이루어진다. VME 연결판에는 커넥터가 장착되어 있기 때문에 각 보드들의 탈부착이 용이하다. VME 연결판을 포함한 전자부박스의 전체는 Schroff 사의 모델을 구입하여 사용하였다. 그림 1은 전자부박스에 전자보드들이 장착된 모습을 보여주고 그림 2에는 각 보드들과 전원부의 연결을 개략적으로 나타내었다. 전원부는 개발단계에서는 전압조정과 전류계측이 가능한 HP사의 E3621A(Triple power supply)를 사용하였으나, 향후 실용단계에서는 부피와 무게를 줄이고 기기를 단순화하기 위해 소형전원장치(SEK 105: single voltage, +5.4V / PSM215: dual voltage, +15.0V)를 구입하여 전자부박스 내부에 장착할 계획이다. 컨트롤러의 전원은 +5.4 V, ±15.0 V를 필요로 하고 최대 소비전력은 표 1과 같다.

2.2 DSP보드

DSP보드는 전자신호를 처리하고 부동소수점 연산을 수행할 수 있는 디지털 신호 처리기(DSP: Digital Signal Processor; Texas Instruments Co.)를 탑재하고 있으며 시스템 펌웨어를 이용하여 검출기 컨트롤러 전체를 관리한다. FPGA(Field Programmable Gate Array ; 논리회로형 반도체; EP1C6Q240C8)는 DSP와 연계하여 DSP보드를 제어하며 클럭패턴(Clock pattern)을 제어하는 역할을 담당하고 있다. 클럭 패턴은 PC로부터 다운로드 하여 DPRAM에 저장하여 사용한다. FPGA 내의 논리회로는 Altera사의 홈페이지에서 제공되는 Quartus2 5.0 프로그램을 이용하여 구성하였고 ByteBlaster II를 통하여 FPGA 칩에 입력하였다.

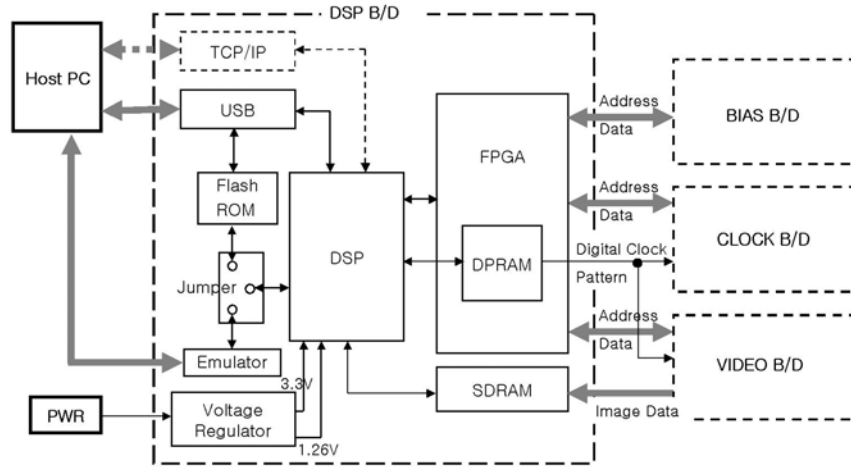


그림 3. DSP보드의 연결도

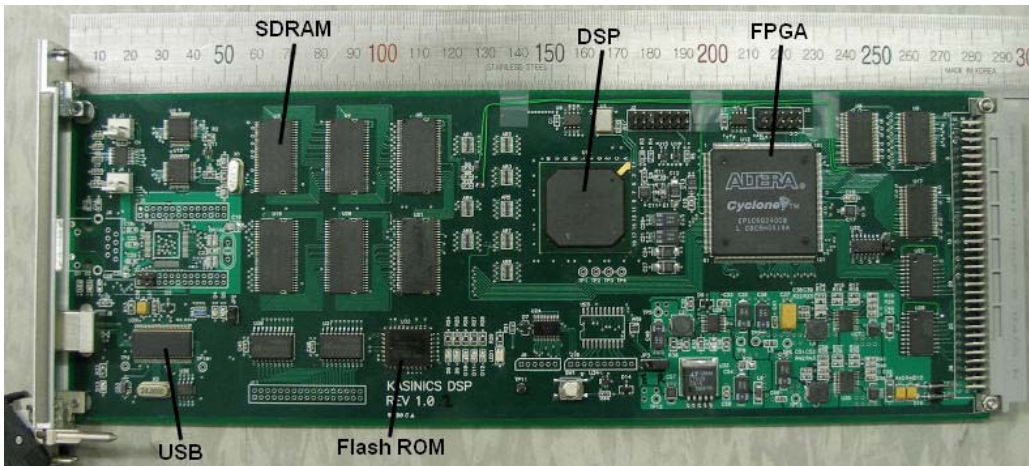


그림 4. DSP보드의 사진

DSP보드는 클럭보드에 15개, 비디오보드에 1개의 클럭 패턴을 전송한다. 또한, 비디오보드에서 디지털 값으로 변환된 영상자료를 받아 SDRAM(MT48LC32M16A2)에 저장한 후 PC의 요청에 따라 재전송하도록 하였다. SDRAM의 총 용량은 384MB로 512×512 영상검출기를 사용하는 경우에 영상자료 768장을 저장할 수 있다.

PC와의 통신은 USB 2.0과 TCP/IP를 이용하도록 설

계되었고 현재는 USB 2.0을 주된 통신 방법으로 사용하고 있다. DSP보드에는 16개의 범용 디지털 입출력 장치가 포함되어 있으며 현재 필터휠의 절대위치를 찾는 마이크로 스위치의 On/Off값을 읽어 들이기 위해 2개의 입력신호를 사용하고 있다. 그림 3은 DSP보드의 연결도이고 그림 4는 제작이 완성된 보드의 사진이다.

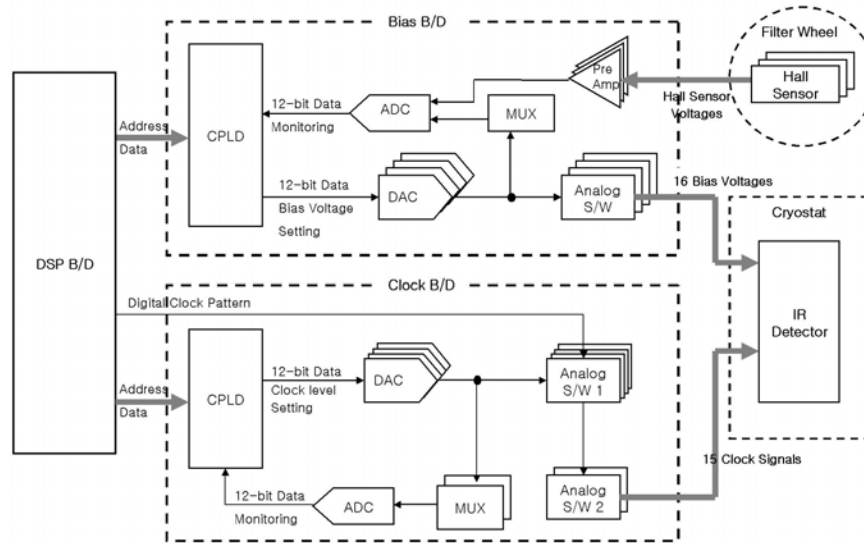


그림 5. 바이어스보드와 클럭보드의 연결도

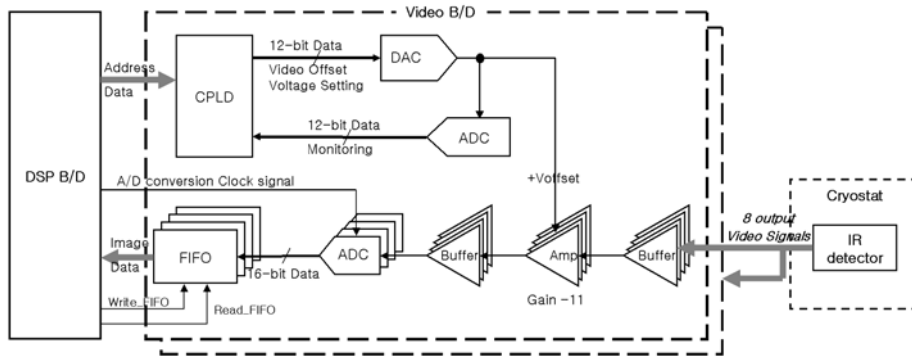


그림 6. 비디오보드의 연결도

2.3 바이어스 / 클럭보드

검출기는 바이어스전압과 클럭신호에 따라 동작하여 측정된 영상신호를 비디오보드로 출력한다. 적외선검출기는 입력되는 전압 범위에 상당히 민감하기 때문에 정확한 전압이 공급될 수 있는 장치가 필요하다. 이를 위해 바이어스보드와 클럭보드에 디지털 값을 입력받아 아날로그 출력값을 조정할 수 있는 DAC(Digital to analog convertor ; 디지털 아날로그 변환장치)을 설치하여 검출기로 공급되는 전압의 값을 쉽게 제어할 수 있도록 하였고, 설정된 아날로그 출력 값을 재확인하기 위해 ADC(Analog to Digital Converter ; 아날로그 디지털 변환장치)를 설치하였다. 또한, 검출기를 보호하기 위해 아날로그 스위치(Analog switch)를 장착하여 DAC 출력 값의 전송여부를

제어할 수 있도록 하였다. DAC의 설정과 스위치의 설정, 그리고 ADC의 값을 읽는 것은 DSP보드를 통해 PC에서 제어할 수 있기 때문에 망원경과 관측실이 멀리 떨어져 있어도 앞에서 기술한 모든 동작을 수행할 수 있다. 그림 5는 바이어스보드와 클럭보드의 연결도를 나타내었다.

바이어스보드에는 0.48mV의 정확도를 갖는 4개의 DAC(DAC8420, 12bit, 4 channels)과 1개의 ADC(AD7891, 8 channels), 아날로그 스위치(DG405)가 장착되어 있다. 각 보드에 장착된 고성능의 CPLD (Complex Programmable Logic Device ; EPM3256ATC144)는 보드의 어드레스 코드(Address code)를 가지고 있으며, DSP로부터 명령신호를 받아 DAC 값을 설정하고, ADC에서 읽어 들인 값을 DSP로 보내는 역할을 한다. 바이어스보드는 필터의 절대위치

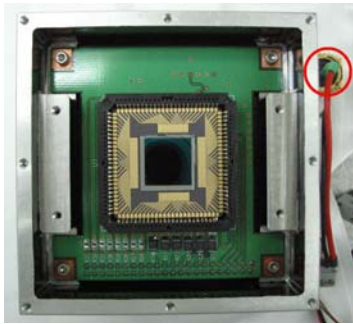


그림 7. 검출기상자(Detector-box) 에 장착된 팬아웃보드. 팬아웃보드의 중앙에 검출기가 장착된 PLCC소켓이 위치한다.

를 알기위해 사용되는 홀센서신호 증폭회로를 포함하고 있다. 홀센서 신호는 ADC를 이용하여 검출 된다. 클럭보드는 15개의 클럭 신호를 만든다. 클럭보드의 구조는 바이어스보드와 매우 유사하다. 이 보드는 15쌍의 클럭전압을 만들기 위한 8개의 DAC가 있고, 여기에 CPLD, 멀티플렉서, ADC, 두 종류의 아날로그 스위치로 구성되어 있다. 두 종류의 아날로그 스위치 중 하나는 클럭 패턴의 고-저 전압(high-low level)을 선택하는 스위치 이고 다른 하나는 클럭 신호의 전송여부를 제어하는 스위치이다.

2.4 비디오보드

비디오보드는 검출기로부터 출력되는 아날로그 영상신호를 디지털 값으로 변환하여 처리한다. 이 보드에서 아날로그 영상신호가 디지털 값으로 변환되기 전에 검출기의 출력 전압을 11배 증폭시키고 신호를 반전시키는 과정을 수행하며, 이렇게 증폭된 전압은 ADC(AD7671)를 통하여 16비트(bit)의 디지털 값으로 변환된다. 비디오보드의 구성을 그림 6에 나타내었다. 주요구성요소는 PreAmp 회로, 오프셋 전압설정을 위한 DAC, 오프셋 전압 값의 확인을 위한 ADC(AD7891), 검출기로부터 받은 아날로그 신호를 디지털 값으로 바꾸어 주는 ADC(AD7671), FIFO Memory등이 있다. 어레이 검출기에서는 열과 행이 순차적으로 출력되면 검출기가 정상적으로 동작하였다는 신호를 보낸다. 비디오보드에는 이러한 신호를 확인하는 기능이 포함되어 있다.

적외선관측조건의 모의실험에 의하면 여름에 L-밴드 관측을 하기 위해서는 초당 10프레임의 영상을 얻을 수 있는 읽기속도가 지원되어야 한다 (박수종 외 2004; 강지나의 2004). 512x512의 ALADDIN 검출기의 경우, 아날로그의

표 2. ALADDIN 검출기의 사양 (Raytheon 2006)

Parameter	Specification
material	InSb
Pixel Size	27 μm × 27 μm
Array Configuration	512×512 (262,144)
Architecture	1 Quadrant
Readout type	Source Follower per Detector
Number of Output	8
Clocks	8
Bias/current Supplies	13 / 1
Maximum Frame Rate	15 Hz
Reset Option	Global or Row pair
Wavelength Range	1~5 μm
Quantum Efficiency	>80 %
Operating Temperature	30 K
Dark Current	< 1 electron/sec
Noise	10~50 electrons rms

디지털 변환시간(AD conversion time)은 320KHz이상이 되어야 하는데 컨트롤러에서 선택한 AD7671의 변환시간은 5ns로 이를 만족 한다. 그러나 현재 시스템의 잡음도와 신호의 샘플링방식을 고려하여 초당 1프레임의 속도로 사용하고 있다. 읽기속도는 향후 최적화 과정을 거치면서 지속적으로 개선해 나가야 할 부분이다.

1장의 비디오보드는 4개의 신호를 동시에 처리할 수 있도록 설계 하였다. ALADDIN III 검출기는 동시에 8개의 출력 신호를 내보내기 때문에 비디오보드 두 장을 사용하고 있다. 비디오보드는 4장까지 확장이 가능하다.

2.5 팬아웃(Fanout)보드

적외선검출기와 컨트롤러의 연결은 팬아웃보드를 통하여 이루어진다. 팬아웃보드에는 검출기가 삽입되어 고정되는 소켓과 검출기를 서지전압으로부터 보호하기 위한 저항,캐패시터가 장착되어 있다. 컨트롤러와의 연결케이블은 열전도를 줄이기 위해 저온용으로 많이 사용되는 인청동(Phosphor Bronze) 와이어 WDT-36-100(Dual Twist 36 AWG Wire:비디오 선)와 WQL-32-100(Quad-Lead 32 AWG Wire:바이어스, 클럭 선)를 사용하였다. 연결케이블의 임피던스는 1.2 옴(ohm) 이며 클럭신호의 안정시간(settling time)은 40ns 이다.

KASINICS에서 사용할 검출기는 ALADDIN III Quadrant로 512x512픽셀을 가지고 있다. 검출기는 1~5μm 파장범위에서 검출가능하고 동시에 8개의 출력신호를 내보낸다. 검출기의 사양을 표 2에 정리 하였다. ALADDIN III 검출기의 동작온도는 30K 이다. 이 검출기의 암전류 발생률은 30K 온도에서 1electron/s 이하이고 온도가 높아짐에 따라 급격하게 증가한다.

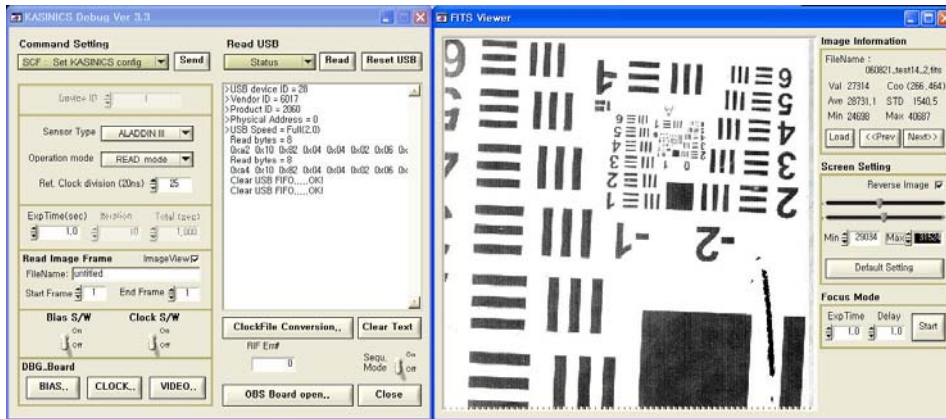


그림 8. 검출기 컨트롤러의 제어 프로그램.

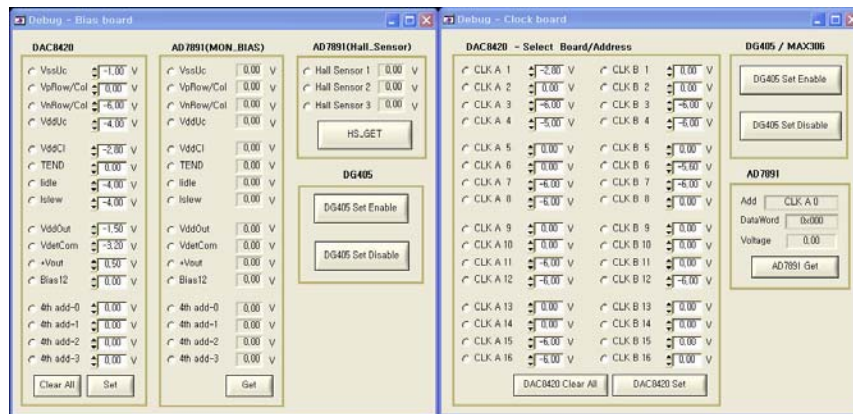


그림 9. 검출기 컨트롤러의 바이어스값과 클럭값을 설정하기 위한 창.

(Raytheon 2006). 검출기의 압전류를 최소화하기 위해 검출기상자 전체를 30K로 냉각 시키고, 안정적인 운용을 위해 검출기상자에 온도센서와 전기히터를 부착하고 온도제어기(Temperature controller model 321, Lakeshore Inc.)를 사용하여 검출기상자의 온도를 $30K \pm 0.1$ 도 내에서 유지시킨다 (차상목 외 2006). 그림 7은 검출기상자에 장착된 팬아웃보드의 사진이다. 팬아웃보드의 소켓에 ALADDIN 검출기가 삽입 되어 있다. 오른쪽 상단의 원안에 보이는 것이 온도유지를 위한 전기히터이다.

3. 펌웨어와 제어 프로그램

컨트롤러 펌웨어는 C언어 기반의 CCS(CoCode Composer Studio) 2.20 프로그램을 사용하여 개발하였다. CCS 프로그램은 XDS510-USB JTAG 에뮬레이터를 통하여 DSP와 통신한다. 디버그 작업이 끝난 후에는 실행 가능한 코드를 플래쉬 메모리에 저장하여 사용하고, PC에서 코드 업

데이트가 가능하다.

시스템에 전원이 들어가면 먼저 시스템 구성(system configuration)을 결정하고 DSP를 포함한 장치들을 초기화한다. 이 과정에서 각종 인수들은 EEPROM에 저장되어 있는 값을 대입시킨다. 바이어스와 클럭 전압은 ALADDIN III의 요구에 맞는 값으로 사용자가 설정 하고 SDRAM, FIFO등의 저장장치는 비워진다.

윈도우 기반의 실험용 제어 프로그램은 CVI 6.0 을 사용하여 개발하였다. 프로그램은 USB interface를 통하여 펌웨어와 통신한다. 제어 프로그램은 클럭 패턴 다운로드, 노출시간 설정, 영상 프레임 가져오기, PC로 자료 전송, 바이어스 및 클럭 전압 설정, 아날로그 스위치 제어, 그리고 여러 전압 값을 모니터링 하는 기능을 가지고 있다. 그림 8의 왼쪽 창은 프로그램의 주 제어 창으로 통신 상태를 확인할 수 있으며 관측에 필요한 인수들을 설정 할 수 있다. 주 제어 창의 왼쪽 아래에 위치한 'BIAS' 버튼과 'CLOCK' 버튼을 누르면 각각 바이어스와 클럭을

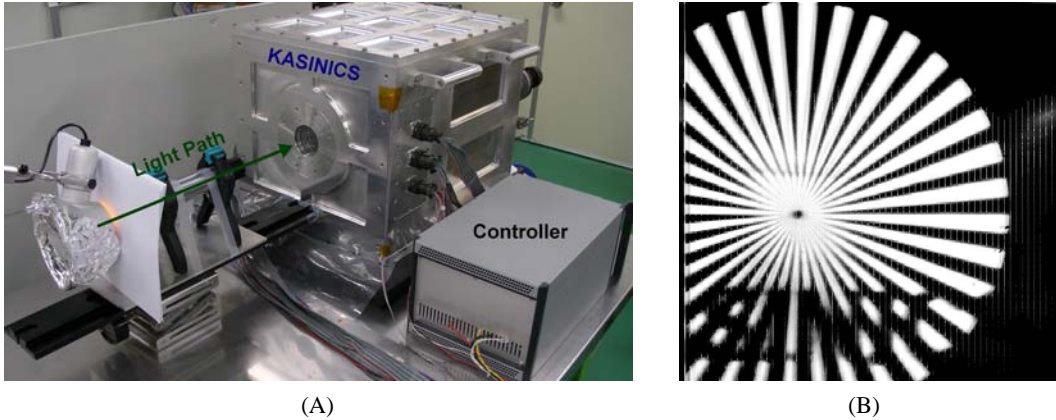


그림 10. KASINICS 냉각테스트 사진. (A) 실험배치사진. (B) ALADDIN ROIC영상.

설정하고 모니터링하기 위한 창이 그림 9와 같이 나타난다. 검출기에 가장 적합한 전압을 찾을 수 있도록 하기 위해 하나하나의 값을 독립적으로 설정할 수 있도록 하였다. 그림 8의 오른쪽 창은 DSP보드에서 가져온 영상과 컴퓨터에 저장된 영상을 확인하기 위한 창이다. 영상확인 창에서는 최대값, 최소값, 평균값, 표준편차, 픽셀별 데이터 값을 확인할 수 있게 되어있다.

4. 동작 시험 및 냉각 시험

적외선검출기를 이용한 적외선관측을 하기 전에 256×256 CRC-744 ROIC와 512×512 ALADDIN ROIC를 이용하여 개발완료 된 컨트롤러의 동작시험을 하였다. 적외선검출기는 적외선에 반응하여 전자를 생성하는 광검출소재와 생성된 전자신호를 처리하는 회로(ROIC: Read-Out Integrated Circuit)로 구성되어 있다 (McLean 1997; Raytheon 2006). ROIC가 검출기는 아니지만 실리콘으로 만들어져 가시광에 반응을 한다. 이 ROIC는 상온에서 시험할 수 있기 때문에 컨트롤러의 운용시험을 수행할 수 있다. KASINICS의 상온 시험을 위해 검출기박스를 표준 50mm렌즈에 부착하여 해상기준표(Resolution Target)를 관측하였다. 그림 8의 영상확인 창에 있는 영상은 ALADDIN ROIC를 이용한 상온시험을 통해 얻은 영상이다. 컨트롤러가 검출기를 동작시키고 검출기의 출력신호를 정상적으로 읽어 오는 것을 확인하였다.

컨트롤러의 정상동작을 확인한 후 카메라 전체를 80K으로, 검출기상자를 30K로 냉각시키는 시험을 하였다. 냉각시험을 위해 그림 10의 왼쪽 그림과 같이 카메라와 관측대상을 배치하였다. 스타 타겟(Star Target)을 조준경(collimator)에 부착하고 백열전구를 비춰주어 카메라에 빛이 들어가게끔 하였다. 그림 10의 오른쪽 그림은 ALADDIN ROIC를 이용하여 얻은 영상으로 스타 타겟 앞에 ‘KASINICS’라는 글씨를 덧붙인 상태에서 관측하였

다. 냉각시험을 통해 검출기가 30K으로 냉각된 상태에서도 컨트롤러가 검출기를 정상적으로 동작시킬 수 있음을 확인하였다.

5. 요약 및 결론

한국천문연구원은 개발 완료되어 시험운영 중인 지상망원경용 근적외선 카메라 시스템 KASINICS를 구동하기 위한 검출기 컨트롤러를 개발하였다.

컨트롤러는 적용범위를 다양화시키기 위해 범용으로 설계되었다. 전자보드를 10장까지 확장 할 수 있으며 바이어스 및 클럭에 사용되는 출력단 마다 독립적으로 전압을 제어 할 수 있도록 하여 설정 값의 변환이 용이하다. 검출기에 맞는 바이어스, 클럭 전압, 클럭 패턴 조정 작업과 필요에 따른 보드 확장을 통해 바이어스와 클럭 전압의 조합으로 구동되는 검출기를 동작시킬 수 있다. 컨트롤러의 동작 시험결과 CRC-744(256×256), ALADDIN III(512×512) 두 종류의 ROIC를 정상적으로 동작 시킬 수 있음을 확인하였다.

새로운 컨트롤러의 개발은 영상검출기 제어 기술의 습득에 목적을 두고 있다. 개발된 컨트롤러는 PC기반으로 되어 있어 window운영체제에서 손쉽게 운용할 수 있다. 자체 개발하였기 때문에 유지 및 보수, 업그레이드가 쉬우며 목적에 맞게 조정이 가능하다.

컨트롤러는 검출기의 동적범위(Dynamic Range)와 선형성(Linearity), 그리고 게인(Gain: electron/ADU) 값을 최적화 시키는 과정을 거쳐 적외선카메라 관측에 사용될 것이며 향후 국내에서 제작될 적외선 및 영상관측기기에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 이 연구는 한국천문연구원의 “적외선관측기술 개발” 연구사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 강지나, 이성호, 진호, 박수중, 문봉곤, 김상호, 박장현,
2004, 우주과학회지 21, 4, 467
- 박수중 외 2004, 적외선관측기술개발 (대전: 한국천문연구원
기관고유사업보고서)
- 박수중 외 2005, 적외선관측기술개발Ⅱ (대전: 한국천문연구
원 기관고유사업보고서)
- 차상목, 문봉곤, 진호, 육인수, 남옥원, 이성호, 박영식, 조승
현, 목승원, 김천휘, 2006, 우주과학회지, 23, 4, 425
- Cha, S., Jin, H., Yuk, I., Lee, S., Nam, U., Moon, B., Mock, S.,
Han, J., Lee, D., Park, J., Kyeong, J., Pak, S., Kim, G., Kim,
C., 2006, Proc. of SPIE, 6269, 62694W-1
- Leach B., Low F., 2000, Proc. of SPIE, 4008, Optical and IR
Telescope Instrumentation and Detectors, 337
- McLean I., 1997, Electronic Imaging in Astronomy(Chichester:
Praxis Publishing Ltd), 214
- Raytheon Co., 2006, Aladdin 1024×1024 User's Guide(Waltham:
Raytheon), 3