

## BOES CCD 카메라 I. 카메라 구성 THE BOES CCD CAMERA I. CAMERA ASSEMBLY

박병곤, 장정균, 성현철, 장비호, 김강민, 한인우  
한국천문연구원

B.-G. PARK, J.-G. JANG, H.-C. SEONG, B.-H. JANG, K.-M. KIM, AND I. HAN  
Korea Astronomy Observatory

(Received: November 19, 2003; Accepted: December 22, 2003)

### ABSTRACT

A CCD camera for the BOES (Bohyunsan Observatory Echelle Spectrograph) has been developed. The camera consists of a  $2048 \times 4096$  format CCD, a SDSU Gen-I CCD controller, and a continuous flow cryostat (CFC) designed by the ESO. In order to control the CCD under SDSU Gen-I controller, the voltage level of all the biases and clocks were lowered by  $-6V$ . The CFC showed cooling time of about 10 hour, after which the chip temperature settled down with variation less than  $\pm 1^\circ C$ . The final chip temperature is around  $-105^\circ C$  with the setting value for the CFC as  $-170^\circ C$ .

*Keywords:* instruments, CCD camera, spectrograph

### 1. 서론

한국천문연구원 보현산천문대에서는 1996년부터 2002년까지 6년간에 걸쳐 국책연구개발사업으로 “광학 및 전파 망원경을 활용한 천체 분광관측 연구” 연구를 수행하여 고분산 에셀 분광기 (이후 BOES; Bohyunsan Observatory Echelle Spectrograph) 를 개발하였다.

BOES는 1.8m 망원경의 F/8 카세그레인 초점에서 광섬유를 통하여 입사된 빛을 에셀로 분산시키는 고분산분광기이다. BOES의 유효 파장대역은  $3,500 \sim 10,500 \text{ \AA}$ 이며 광학계 설계 (Vogt 1999)에 따라 천체 파장 대역을  $30.7 \times 61.4\text{mm}$  크기의 CCD 화면에 담도록 되어 있다. 이 때 사용된 CCD 소자의 한 픽셀은 한 변이  $15 \mu\text{m}$ 인 정방형으로 구성된다.

BOES는 다양한 부분으로 구성된 복잡한 시스템이다. 망원경의 카세그레인 초점에 설치되는 카세그레인 인터페이스 모듈 (이후 CIM; Cassegrain Interface Module)과, 분광실에 설치된 에셀 분광기, 그리고 최종적으로 분광 영상을 기록하는 CCD 카메라로 나눌 수 있다. CIM에는 비교광원과 요오드통 등이 설치되어 천체 분광선에 대한 비교선을 만들어준다. BOES로 별빛을 전달하는 광케이블과 슬릿, 그리고 자동추적을 위한 추적 카메라 등도 여기에 설치되어 있다. CIM에는 또 기존의 중분산분광기 (김강민 1999)를 개량한 긴슬릿 분광기가 설치되어 있다. 에셀분광기는 분광실에 설치되어 망원경으로부터 광케이블을 거쳐 입사된 천체의 빛을 분산시키는 BOES의 핵심부이다. 이 분광실에는 정밀한 분광선의 측정을 위하여 항은

항습장치가 설치되어 있다. BOES CCD 카메라는 천체의 고분산 스펙트럼을 영상으로 기록하는 카메라로 분광실에 설치되어 있고, 광학계의 최종단 역할을 한다.

본 논문에서는 BOES의 여러 부분 중에서 CCD 카메라에 대한 부분만을 소개한다. 특히 이 카메라에 설치된 특별한 냉각 장치인 연속공급 방식 냉각기를 설명하고자 하며, 채택한 CCD 제어기의 제어 방식에 대하여 소개하고자 한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 BOES를 위한 CCD 소자의 선정 과정과 소자의 특징에 대하여 기술하고, 3장에서는 CCD 제어부의 구성과 전압 설정, 4장에서는 냉각 장치에 대해 소개하며, 마지막으로 5장은 이 논문의 결론이다.

### 2. CCD 소자

#### 2.1. CCD 소자의 선정

서론에서 기술한 바와 같이 BOES의 최종 영상은 광학계 설계에 따라  $15 \mu\text{m}$  정방형의 픽셀을 가진  $2048 \times 4096$  픽셀의 CCD ( $30.7\text{mm} \times 61.4\text{mm}$ )에 맞추어 설계되었다. 이 사양을 만족하는 CCD 소자는 두 종류가 있는데 각각 미국 SITe사의 ST002A와 영국 E2V사의 CCD 44-82이다. BOES의 경우 350nm에서 1050nm에 이르는 넓은 파장대역을 다루므로 기계적 사양이 같은 두 소자 중에서 어느 것을 고르는가에 대한 기준은 양자효율일 수 밖에 없다. 일반적으로 CCD의 양자효율은 400nm보다 같거나 짧은 파장대역에서 급격하게 나빠지고 광학계를 구성하는 유리

표 1.— ST002A와 CCD 44-82의 양자효율 비교(후면조사 방식, 자외선 무반사 코팅 기준).

파장(nm)	ST002A(%)	CCD 44-82(%)
350	40	55
500	75	90
600	85	85
700	85	75
900	50	30

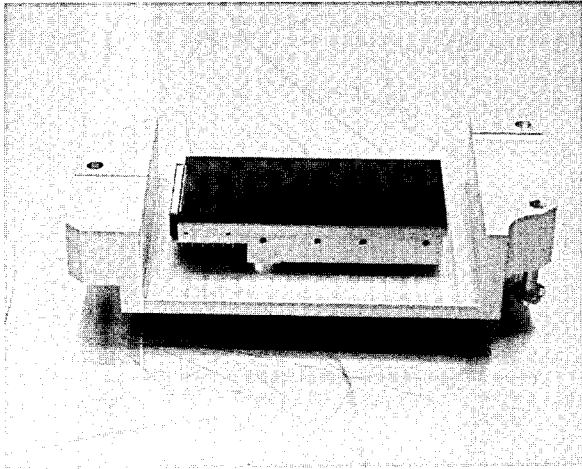


그림 1.— CCD 44-82의 모습. 금속 보호 패키지 위에 놓여 있다.

의 투과율 역시 짧은 파장에서 나쁘므로 가급적 짧은 파장에서 효율이 좋은 CCD 소자를 선택하여야 할 것이다. 두 제작사에서 표준으로 제시하는 후면조사방식 CCD 소자의 양자효율은 표 1과 같다. 표 1에서 600nm를 기준으로 짧은 파장은 CCD 44-82, 긴 파장은 ST002A가 더 효율이 좋을 수 있다. 따라서 BOES CCD 카메라는 E2V사의 CCD 44-82를 채택하였다.

## 2.2. CCD 소자의 특징

앞절에서 선정한 CCD 소자를 E2V사로부터 구매하였다. 구매한 CCD 소자는 자외선 무반사 코팅이 된 후면조사 방식의 CCD로서 제작사에서 시험한 특성 시험 결과는 표 2에 요약하였다. 표 2는 가운데의 수평선을 기준으로 아래와 위로 나뉘어 있는데 위쪽의 자료는 CCD 44-82의 표준 크기 및 특징, 일련번호 등을 기술한 것이며, 아래쪽의 자료는 실제 구매한 소자를 제작사에서 시험한 결과를 제시한 것이다. CCD 44-82의 모습은 그림 1과 같다.

CCD 44-82의 출력 앰프는 좌우에 각각 하나씩 두 개가 있다. 표 2에 따르면 읽기 잡음은  $2e^-$ 를 약간 넘는 수준으로 매우 낮음을 알 수 있다. 물론 이것은 소자만의 잡음을

표 2.— E2V CCD 44-82 소자의 제작사 사양

형식	2048 × 4096 pixels	
픽셀 크기	15 $\mu$ m × 15 $\mu$ m	
이미지 영역	30.7mm × 61.4mm	
일련번호	9332-18-1	
코팅	UV AR coating	
등급	Grade 1	
출력	2	
읽기 잡음( $e^-$ )	Left	2.3
	Right	2.1
평균 암잡음 손상픽셀	0.394 $e^-$ /pix/hr	
	point	12
	trap	4
	column	1
양자효율(%)	350 nm	61.4
	400 nm	81.3
	500 nm	80.1
	650 nm	78.3
	900 nm	29.5
전달효율	serial(L)	1.000000
	serial(R)	0.999997
	parallel	0.999997

의미하는 것으로 채택하는 CCD의 제어기나 배선 방법 등에 따라 전체 카메라 시스템의 잡음은 더 높아질 수 있다.

구매한 소자는 1등급의 CCD로 표 2에 나타난 손상된 픽셀의 갯수는 E2V에서 제시하는 기준을 만족한다. E2V의 기준에 의하면 1등급의 소자는 손상 픽셀이 점인 경우 최대 500개, 선인 경우 최대 6개 이내여야 한다(E2V Technologies 2003). 전하가 발생되지 않는 영역인 트랩(trap)인 경우 1등급은 최대 30개 이내여야 한다. 따라서 이 기준으로만 보면 구매한 CCD는 가장 좋은 등급인 0등급의 기준도 충족한다.

양자효율의 경우 표 1의 표준 자료와 실제 구매한 소자의 양자효율 측정 자료인 표 2의 값을 비교해 보면 400nm의 경우를 제외하고는 구매한 소자의 양자효율이 전체 범위에서 기준값과 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 특히 350nm에서 측정한 양자 효율은 표준 자료보다 6% 이상 더 좋으므로 BOES를 위한 최상의 CCD를 구매하였다고 할 수 있다.

## 3. CCD 제어부

### 3.1. SDSU Gen-I 제어계의 구성

BOES CCD 소자를 제어하기 위한 제어시스템은 미국 Astronomical Research Camera (ARC) 사의 SDSU Gen-I 제어장치를 사용하였다. SDSU Gen-I은 기준에 보현산천

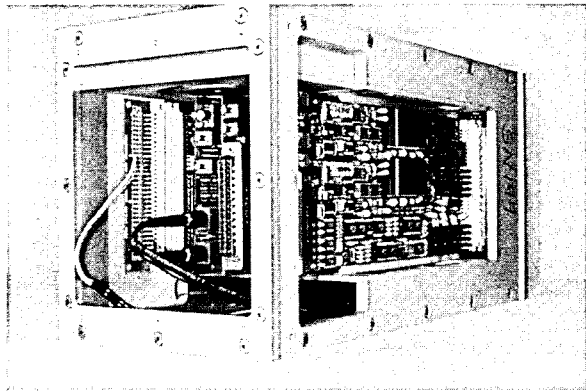


그림 2.— SDSU Gen-I CCD 제어기가 제어기 박스에 장치된 모습.

문대 1.8m 망원경의 영상 관측용 카메라로 사용되고 있는 1K CCD 카메라 (박병곤 등 1995), 2K CCD 카메라 (박병곤 등 2001), 그리고 중분산 분광기 (김강민 1999) 에 사용된 제어장치이다.

SDSU Gen-I 제어기는 크게 네개의 보드로 구성되어 있다. 먼저 모토롤라의 DSP 56001을 중앙처리장치로 사용하는 타이밍 보드를 들 수 있다. 이 타이밍 보드에서 생성된 클럭 및 바이어스 전압값은 아날로그 보드에서 실제 전압으로 변환되어 CCD로 전달된다. 그리고 서터와 온도 제어에 사용되는 유틸리티 보드는 별도의 DSP 56001 중앙처리장치를 장착하고 있다. 타이밍 보드는 SBus 인터페이스 카드를 통하여 Sun SPARC 계열의 호스트 컴퓨터와 연결되어 전체 시스템을 제어한다. 그림 2는 SDSU-Gen I 이 장치된 CCD 제어기의 모습을 나타낸 것이다.

SDSU Gen-I 제어기의 타이밍 보드에 사용되는 DSP 56001은 20MHz의 속도로 동작한다. 따라서 하나의 명령어 실행에 50ns가 소요되는데 이것은 CCD 클럭 타이밍의 최소 단위가 된다. 즉, 클럭 속도는 50ns의 정수배가 되며 아무리 빠른 클럭도 50ns보다 빠를 수 없다. 한편 아날로그 보드는 타이밍 보드의 신호를 받아 클럭과 바이어스 전압을 생성하게 되는데 이 때 8비트의 DAC를 사용하게 된다. DAC는 클럭용으로 12개, 바이어스 전압용으로 4개가 제공되는데 클럭용의 DAC는  $\pm 10V$ , 바이어스용의 DAC는 0 ~ 30V 하나, 0 ~ 20V 둘, -5 ~ 5V 하나로 구성된다. DAC가 8비트이므로 최소 전압의 단위는 전체 범위가 10V인 경우 0.04V, 20V인 경우 0.08V, 30V의 경우는 0.12V가 된다. 즉, 이보다 더 세밀한 전압 조정은 불가능하다. 또한 아날로그 보드에 장치된 16비트 ADC는 CCD의 출력 전압을 수치로 환산하는 역할을 하는데 한번의 동작에 10  $\mu s$ 를 필요로 한다. 이것은 CCD의 읽기 속도를 빠르게 하는데 중요한 제약조건이 된다.

표 3.— CCD 44-82의 제작사 권장 전압과 실제 인가 전압

이름	기호	권장전압(V)	실제 전압(V)
Output Drain	VOD	30	24
Reset Drain	VRD	16	10
Dump Drain	VDD	24	18
Output Gate 1	OG1	3	-3
Output Gate 2	OG2	4	-2
Substrate	VSS	6	0
Reset Clock	$V\phi R$	12	6
Serial Clock	$VR\phi$	11	5
Parallel Clock	$VI\phi$	10	4
Dump Gate	VDG	—	6

### 3.2. BOES CCD를 위한 전압 설정

제작사에서 제시한 CCD 44-82의 클럭 및 바이어스에 대한 최적값을 표 3에 보였다. 표 3의 권장 전압은 클럭의 경우 높은 전압만 기록되어 있으며 낮은 전압은 0V이다. 또 덤프 게이트(VDG)는 CCD에 쌓인 전하를 빠른 시간에 읽어낼 때 사용하는 것으로 정해진 전압은 없으며 사용하지 않는 경우 0V를 일정하게 유지한다. 만일 덤프 게이트를 사용하려면 높은 전압은 12V를 인가하도록 추천되어 있다.

표 3에서 보듯이 권장 전압은 VOD의 경우 30V, VDD의 경우 24V로 두 개의 바이어스 전압이 20V보다 더 큰 전압을 사용하도록 하고 있다. 그러나 SDSU Gen-I의 경우 20V 이상의 바이어스 전압 출력은 하나밖에 없기 때문에 하나의 아날로그 보드로는 CCD 44-82의 권장 전압을 충족시킬 수 없다. 이 문제를 해결하기 위하여 다음과 같은 기법을 적용하였다. 즉, CCD 44-82의 활용 매뉴얼(E2V Technologies 2003)에 의하면 모든 바이어스 전압과 클럭 전압은 VSS에 대한 상대적인 값으로 작용한다. 따라서 VSS를 낮출 경우 바이어스 전압과 클럭 전압도 함께 낮출 수 있다. 표 2에서 실제 인가한 전압은 VSS를 0V로 낮추고 이에 따라 모든 바이어스와 클럭의 전압을 모두 6V씩 낮추어서 적용하였다. 이 때 물론 클럭의 낮은 전압은 -6V로 함께 낮아진다. 이 경우 아날로그 접지 전압과 클럭과 바이어스 기준전압인 VSS가 0V로 같아진다. 따라서 접지를 타고 오는 전기잡음의 영향에 좀 더 민감해질 가능성이 있으나 (Tonry 2002), CCD의 작동에는 아무 이상이 없음을 확인할 수 있었다. CCD의 전하전달효율을 충분히 보장하는 범위에서 SDSU Gen-I으로 읽어낼 때 한 픽셀을 읽는데 걸리는 시간은 약 22  $\mu s$ 로 전체를 모두 읽어내는 데에는 약 200초가 소요된다.

### 3.3. 제어 소프트웨어

BOES CCD 카메라의 제어를 위하여 별도의 제어프로그램을 개발하지 않았다. 그 대신 기존에 사용하고 있던 영상

관측용의 CCD 카메라 제어 소프트웨어를 수정하여 BOES CCD 카메라를 제어할 수 있도록 하였다. 영상 관측용 제어 소프트웨어는 육인수와 박병곤 (1996)에 잘 설명되어 있다.

#### 4. 냉각 장치

##### 4.1. 냉각 장치의 선정

BOES CCD 카메라는 보통의 영상관측용 CCD 카메라와는 달리 망원경에 부착하여 사용하는 카메라가 아니라 항온 항습이 유지되는 분광관측실에 설치되는 카메라이다. 따라서 냉각 장치는 분광실의 항온 항습에 영향을 주지 않아야 하므로 자주 액체 질소를 채워 주어야 하는 듀어 형태의 냉각 장치는 적합하지 않다. 또한 전기 냉각 방식의 경우 현재까지의 기술은 압잡음 발생을 무시할 만한 온도인  $-100^{\circ}\text{C}$ 까지 냉각시키지 못하고 있다. ESO에서는 대용량의 액체질소 탱크에서 연속적으로 액체질소를 공급하여 CCD를 냉각시키는 연속공급형 냉각 장치 (이하 CFC; Continuous Flow Cryostat)를 개발하여 고분산분광기인 FEROS와 UVES에 적용하여 안정적으로 활용해 오고 있다. 따라서 BOES에서는 ESO의 CFC를 채택하였다.

CFC는 ESO 고유의 설계로서 카메라 헤드와 분리되는 모듈라 방식을 채택하고 있다. BOES에서는 냉각 장치 뿐 아니라 카메라 헤드 역시 ESO에서 구매함으로써 CCD 카메라 하드웨어 개발에 드는 노력을 최소화하였다. 다만 BOES의 광학 설계에서 분광기 카메라의 여섯번째 렌즈를 CCD 카메라 윈도우로 사용하도록 설계되어 있으므로 카메라 헤드의 앞부분을 개조하여 여섯 번째 렌즈를 윈도우 대신 설치하였다. 또 렌즈의 뒷면에서 CCD 표면까지의 거리를 광학 설계에서 요구하는 15mm로 맞추기 위하여 CCD 아래에 알루미늄으로 만든 높이 조절판을 설치하였다.

CFC의 온도 제어는 CFC 온도 제어기에 의하여 이루어진다. 그러나 CCD 제어프로그램에서 소자의 온도를 읽어들이기 위하여 CCD 소자 근처에 다이오드형 온도 센서를 설치하였다.

##### 4.2. CFC의 구성

CFC는 크게 세 부분으로 구성된다. 즉, CCD 카메라 헤드에 직접 부착되는 CFC 본체와 대형 액체 질소 탱크, 그리고 온도제어부이다.

그림 3은 CFC의 동작 과정을 나타낸 개념도이다. 대형 액체 질소 탱크와 CFC 본체는 진공 격벽으로 보호되는 호스로 연결되어 액체 질소가 호스를 통과하는 도중 증발하지 않도록 한다. CFC 본체의 입사구로 흘러들어간 액체 질소는 내부의 콜드 핑거(cold finger)를 둘러싼 모세관에서 증발되어 CCD 소자를 냉각시키며, 증발된 질소 가스는 배출구를 통하여 밖으로 배출된다.

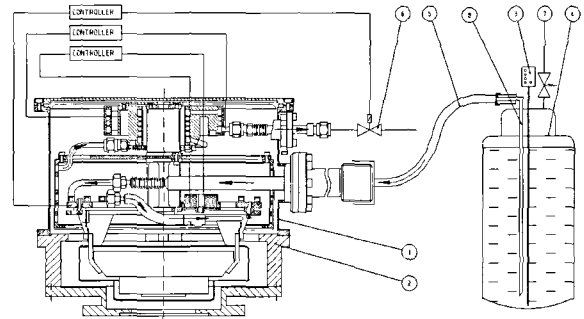


그림 3.— 연속공급형 냉각 장치(CFC)의 개념도. 각 번호는 1: CFC 본체, 2: CCD 카메라 헤드, 3: 액체 질소 탱크의 압력계이지, 4: 액체 질소 탱크 본체, 5: 액체 질소 이송 호스, 6: 질소가스 배출구, 7: 액체 질소 탱크의 안전 밸브, 8: 액체 질소 사이편을 각각 나타낸다. 화살표는 액체 질소의 흐름 방향이다.

온도 제어는 배출구에 설치된 밸브를 여닫음으로써 액체 질소의 출입을 통제하여 이루어진다. 즉, CFC의 온도를 입어서 설정 온도보다 더 낮은 온도가 되면 배출구의 밸브를 닫고, 온도가 높으면 열어준다. 이를 위하여 PT100 온도 센서가 콜드 핑거에 설치되어 있고 하나의 PID 온도 제어기가 사용된다. 배출구를 통하여 배출되는 질소 가스는 매우 온도가 낮기 때문에 배출구 주위에 성애를 형성할 수 있다. 이를 막기 위하여 배출구에는 히터와 또 하나의 온도 센서가 설치되어 있고, 이 히터를 제어하는 온도 제어기는 배출구의 온도를  $-3^{\circ}\text{C}$ 로 유지한다. CCD 카메라의 내부는 고진공 상태를 유지하여야 하는데 알루미늄이나 내부 배선 등에서 표면에 함유된 공기 분자가 방출되어 내부 압력을 높일 수 있다. 이러한 공기 분자를 흡착하기 위하여 CFC 내부에는 흡착물질인 불석(zeolite)이 설치되어 있다. 이 불석은 시간이 지남에 따라 포화상태가 되는데 이 때에는 가열하여 함유한 공기를 모두 방출하도록 해 주어야 한다. 이를 위하여 불석에 히터와 온도 센서가 설치되어 있고 온도 제어기를 이용하여 히터의 온도를  $75^{\circ}\text{C}$ 로 유지하여 주도록 한다. CFC의 온도 제어기는 Omega사의 CN76000 시리즈 PID 온도 제어장치를 사용하며 히터는 Phillips 사의 SEI10/25 시리즈를 사용한다 (Liezon 1999). 그림 4는 CFC 온도제어장치를 나타낸 것이며 그림 5는 BOES CCD 카메라 전체의 모습을 보인다.

##### 4.3. CFC 온도 제어

BOES CCD 카메라의 내부 압력이  $10^{-4}\text{mbar}$  이하로 내려가면 냉각이 가능하다. 하지만 충분한 작동 효율을 위하여 그보다 더 낮은 압력이 될 때까지 진공 펌프를 가동할 필요가 있다. 또한 진공 펌프를 가동하는 동안에는 불석의 공기 분자 제거를 위하여 히터 스위치를 켜 두는 것이 좋

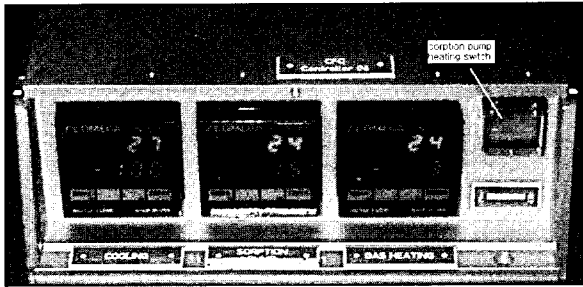


그림 4.— CFC 온도 제어장치의 모습. 세개의 온도제어기가 보인다. 가장 왼쪽이 쿨드펄거의 제어기, 가운데가 불석의 히터제어기, 오른쪽은 배출구 히터제어기이다. 각 제어기의 아래에 있는 숫자는 설정온도, 위의 숫자는 현재온도를 나타낸다. 오른쪽의 덮개 씌워진 스위치는 불석 히터의 스위치이다. 이것은 필요할 때에만 켜도록 한다.

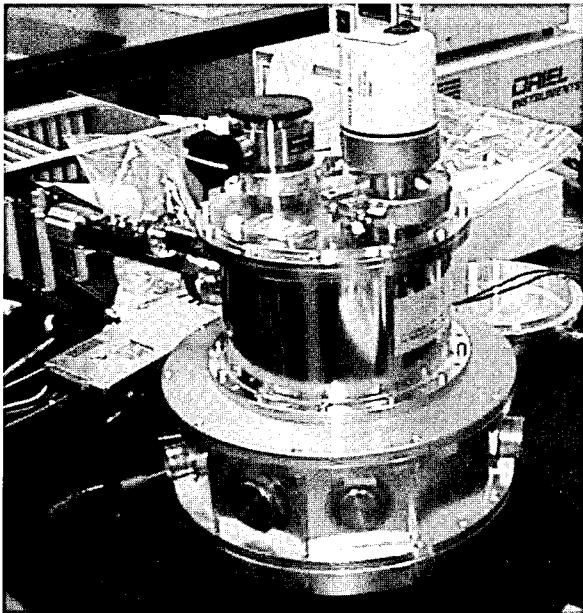


그림 5.— 완전히 조립된 BOES CCD 카메라의 모습. 카메라 헤드가 바닥을 보도록 놓여 있다. CFC의 윗면에 부착된 진공 게이지와 진공 밸브의 모습이 보인다.

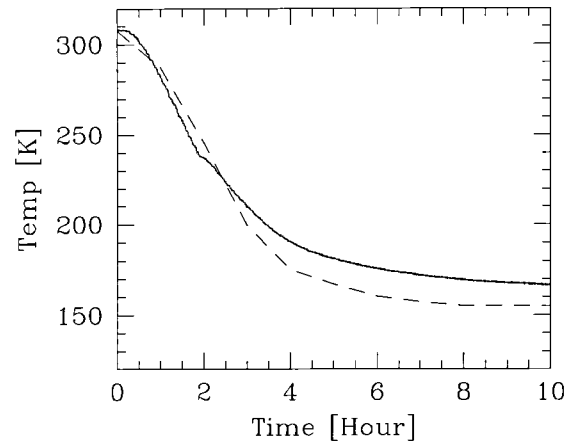


그림 6.— CCD 소자의 온도 변화. 실선은 BOES CCD, 점선은 ESO의 VIMOS CCD의 온도 변화를 각각 나타낸다. 각각의 온도는 모두 CCD 소자 근처에 설치한 온도 센서로부터 읽은 것이다.

다. 일단 액체 질소 공급 호스를 연결하면 대형 액체 질소 탱크의 액체 질소가 모두 소모될 때까지 냉각은 지속된다.

그림 6은 CFC에 의한 CCD의 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 실선은 BOES CCD의 온도 변화를 나타낸 것이며 점선은 ESO의 VIMOS 분광기 CCD 카메라의 온도 변화를 나타낸 것이다. 그림 6에 따르면 냉각이 시작된 후 안정된 값이 되기까지 약 10시간이 소요되는 것을 알 수 있다. 이 시간이 경과하면 CCD 소자의 온도는  $\pm 1^\circ\text{C}$  이내로 안정된 값을 유지하게 된다. BOES CCD의 경우 최종 온도는 약 168K ( $= -105^\circ\text{C}$ )로 안정되며 VIMOS CCD의 경우 약 155K ( $= -118^\circ\text{C}$ )로 유지됨을 알 수 있다. 이 온도 차이는 CFC의 설정온도가 BOES CCD의 경우  $-170^\circ\text{C}$ , VIMOS CCD의 경우  $-180^\circ\text{C}$ 로 서로 다르기 때문이다. 그림 6에서 보인 비교 결과로부터 CFC는 성공적으로 설치되었음을 알 수 있다.

한편 BOES CCD 카메라는 50 리터 용량의 액체 질소 탱크를 사용한다. 50리터의 탱크가 모두 소모되는데 걸리는 시간은 약 7일 (168시간)로 시간당 액체 질소 소모량은 약 0.3리터이다. 액체 질소 탱크와 CFC의 배출구는 모두 분광실 바깥에 설치하여 분광실 내부의 온도 변동을 최소화하였으며, 50 리터 탱크가 모두 비었을 경우 CCD 카메라의 저온을 유지하면서 다시 채울 수 있도록 하였다.

## 5. 결론

보현산천문대의 새로운 에셀 분광기 BOES의 분광선을 촬영하기 위한 CCD 카메라를 제작하였다. BOES CCD 카

메라는 광학설계에 따라 영국 E2V 사의 CCD 44-82 전하 결합소자를 채택하였다. 카메라의 윈도우는 보통의 CCD 카메라에서 사용되는 평면 윈도우와 달리 BOES 분광기 카메라의 여섯 번째 렌즈를 부착하였다. 즉, BOES CCD 카메라는 BOES 분광기 카메라의 일부로 사용되며 영상 관측 등 다른 목적으로 전용하는 것이 불가능하다.

BOES CCD 카메라는 보현산천문대의 영상관측용 CCD 카메라를 제어하는 데에 사용하고 있는 SDSU Gen-I 제어를 사용하여 제어하였다. SDSU Gen-I은 CCD 44-82의 제작사에서 제시하는 적정 전압을 모두 생성해 내지 못한다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위하여 제작사에서 제시하는 모든 전압을  $-6V$  낮추어 적용하였다.

일정한 온도와 습도를 항상 유지하여야 하는 고분산 분광관측실의 특성에 맞추기 위하여 BOES CCD 카메라의 냉각 장치는 액체질소 듀어 대신 ESO 에서 개발한 연속 공급형 냉각 장치(CFC)를 채택하였다. CFC는 처음 개발한 이래 ESO에서 사용하는 대부분의 분광기에 채택된, 안정성이 보장된 냉각 장치이다.

ESO의 CFC를 BOES CCD 카메라에 적용하여 온도 변화를 측정하였다. CFC의 설정 온도를  $-170^{\circ}C$ 로 설정한 상태에서 BOES CCD의 온도는 액체 질소 주입 시작 후 약 10시간 뒤 온도가 안정되었으며 안정된 온도는 약  $-105^{\circ}C$ 였다. 이러한 온도 변화는 같은 냉각 장치를 채택하고 있는 ESO의 VIMOS CCD와 비교하여 거의 같으므로 냉각 장치가 제대로 설치되었고 이상 없이 잘 작동하고 있음을 보여준다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 과학기술부 국책연구개발사업 “천체 분광관측연구사업 (M1-0222-00-0005)”의 연구비 지원으로 이루어졌다.

## 참고문헌

- 김강민 1999, “보현산천문대 중분산분광기 사용자 설명서”, 보현산천문대
- 박병근, 천무영, 김승리 1995, “보현산천문대 1번 CCD 카메라의 실험실테스트”, 천문학 논총 10,11
- 박병근, 천무영, 육인수, 성현철 2001, “보현산천문대 2K CCD 카메라의 특성”, 천문학 논총 16, 31
- 육인수, 박병근 1996, “보현산천문대 CCD 카메라 제어 소프트웨어 알고리즘”, 천문학 논총 11,147
- E2V Technologies 2003, “A1A-CCD44-82 Back Illuminated Issue 4”
- Liezon, J.-L. 1999, “Technical Operating Manual of the VIMOS Continuous Flow Cryostat”, ESO
- Tonry J. 2002, private communication
- Vogt, S.S. 1999, “Phase B report of the BOES”, 보현산천문대