

천체의 광역 관측을 위한 CCD 카메라 개발 DEVELOPMENT OF CCD CAMERA FOR OBSERVING WIDE FIELDS

유영삼¹, 박수종¹, 김민진¹, 이성호¹, 변용익², 천무영³, 한원용³

¹서울대학교 지구환경과학부 천문학전공

²연세대학교 천문우주학과

³한국천문연구원

YOUNG SAM YU¹, SOOJONG PAK¹, MINJIN KIM¹, SUNGHO LEE¹, YONG-IK BYUN³,
MOO-YOUNG CHUN⁴, AND WONYONG HAN⁴

¹Astronomy Program, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

²Department of Astronomy, Yonsei University

³Korea Astronomy Observatory

E-mail: ysyu@astro.snu.ac.kr; soojong@astro.snu.ac.kr; mjkim@astro.snu.ac.kr; leesh@astro.snu.ac.kr;

byun@darksky.yonsei.ac.kr; mychun@kao.re.kr; whan@kao.re.kr

Received 2001 Sep. 17; Accepted 2001 Dec. 24

ABSTRACT

We developed a CCD camera that can observe wide fields on the sky. We tested the field of views using various lenses. For cooling the CCD chip, we used a thermoelectric cooling device and tested the cooling efficiency. This camera will continuously observe a part of the sky. The data from the camera will be used to decide the current weather condition by the real-time star counting program (SCount) which will be developed later.

Keywords: atmospheric effects – instrumentation: miscellaneous – instrumentation: photometers – techniques: photometric

I. 서 론

하늘의 넓은 지역의 천체(인공위성, 소행성, 변광성)를 관측하는 연구를 효율적으로 하기 위해서는 도시에서 멀리 떨어진 곳에 망원경을 설치하고 장시간의 반복된 작업을 수행해야 한다(Richmond et al. 1993). 이 경우 자동화된 무인 관측 시스템과 더불어 하늘의 기상 상태를 자동으로 판별하여 관측의 지속 여부를 결정하는 시스템이 필요하다(Hull, Limmongkol, & Siegmund 1994). 별의 개수는 구름의 존재 유무에 따라 변하므로 이를 이용하면 하늘의 기상 상태를 판별할 수 있다(Hogg et al. 2001).

본 연구에서는 하늘의 넓은 지역의 별을 관측하여, 실시간으로 데이터를 처리할 수 있는 시스템을 개발하기 위해, 직접 CCD 카메라를 제작하였다. 그 동안 국내에서 제작된 천문관측용 CCD 카메라는 어두운 천체를 장시간 관측할 목적으로 성능 테스트(Park, Chun, & Kim 1995)와 개발이(Han 1994; Jin et al. 1997; Park et al. 2000) 진행되었지만 본 연구에서 제작한 카메라는 CCD Camera Cookbook Kit(Berry, Kanto, & Munger 1994)를 응용하여 연구의 목적인 광시야 관측을 만족시키면서 비용과 노력을 줄였다. 그리고,

자체 개발한 CCD 제어를 사용하여 여러 가지 종류의 관측을 가능하게 하였다(S. Lee in preparation). 이 시스템과 더불어 별 세기 프로그램(SCount)을 현재 개발 중에 있다(M. Kim in preparation). 별 세기 프로그램은 일정한 시간마다 관측을 하면서 동시에 별의 개수를 자동으로 계산하여 하늘의 기상 상태를 실시간으로 파악한다. 이 카메라 시스템은 구동 소프트웨어와 하드웨어의 구조가 간단하고 비용이 적게 들어서, 여러 가지 특수한 목적의 천문 관측 연구에 실험적으로 사용될 수 있다.

본 관측장비는 촬영한 이미지에서 별의 개수를 구하여 기상 상태를 판별하므로, 효율적인 측정을 위해서는 가능한 많은 별을 시야에 담아야한다. 그리고, 관측 장소에 무인 관측 시스템을 설치하기 위해서는 장비의 간편성과 내구성도 중요한 요인이 된다. 본 연구에서는 CCD 카메라의 냉각 방법으로 열전냉각기를 이용하여 냉각 성능 실험을 하였다.

본 연구에서 개발된 하드웨어(Sky Monitor)는 한국천문연구원 지구접근천체연구실과 연세대학교 YSTAR(Yonsei Survey Telescopes for Astronomical Research) 사업에서 구축 중인 50 cm 광 시야 탐사 관측 장비에 사용될 예정이다. 이 시스템은 정확한 시간 동기를 위해 GPS와 제어 시스템

이 연결되어 있다. 제어 시스템은 전천 모니터(sky monitor), 기상 관측 장비(weather station) 등과 통신하면서 자동으로 관측을 할 수 있도록 설계되어 있다. 탐사 관측 장비의 운영 소프트웨어는 관측 일정과 그 진행 상황을 스스로 점검하며, 날씨 변화에 따라 탐사 관측의 중단 여부를 점검하는 등 전체 시스템에 대한 통제 및 관측 재개 명령을 내려 정상적인 탐사 관측이 이루어지도록 한다. 따라서 전천 모니터는 원격 자동 관측 구현에 있어서 중추적인 기능을 담당하게 될 것이다.

II. CCD 카메라의 제작

우리는 Texas Instruments사의 TC 245 칩을 사용한 CCD Camera Cookbook Kit(Berry, Kanto, & Munger 1994)를 응용하였다. CCD 카메라의 기본적 구조는 그림 1과 같이 다섯 부분으로 나뉜다.

TC 245 CCD는 이미지 영역, 저장 영역, 직렬 레지스터 게이트(serial register gate)와 전달 게이트(transfer gate)로 구성된 다중 채널(multiplexer) 단위, 전하를 증폭하는 증폭기(amplifier)등 네 개의 기본적인 기능 단위로 구성되어 있다. 카메라 헤드(그림 2)는 CCD 칩을 고정시키고 보호하는 역할과 냉각시키는 역할을 한다. CCD와 프리앰프 카드를 연결해 주는 선이 길수록 간섭이 심해지기 때문에 프리앰프 카드는 카메라 헤드에 직접 부착된다.

인터페이스 카드는 컴퓨터로부터의 CCD 제어신호를 프리앰프 카드로 전달한다. 그리고 CCD로부터의 아날로그 신호를

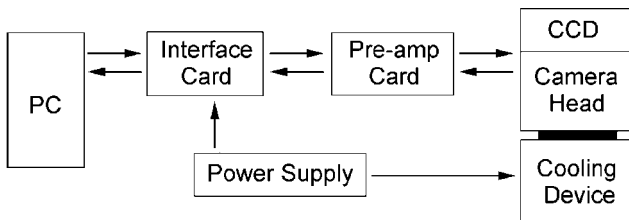


그림 1. CCD 카메라의 구조

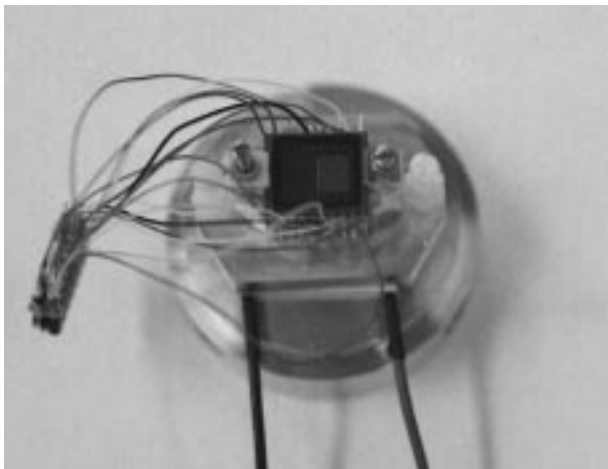


그림 2. 카메라 헤드의 내부에 부착된 TC-245 CCD

호를 12비트 신호로 바꾼다. 12비트 신호는 다시 3개의 4 비트 신호로 나누어져 프린터 포트를 통해 컴퓨터에 전달된다. 그리고 이 카드에서는 CCD의 구동에 필요한 정격전압(+5 V, ±12 V, -9.5 V, +2.3 V)을 출력한다.

프리앰프 카드는 클락 구동 부분과 증폭 부분으로 나뉜다. 클락 구동 부에서는 인터페이스 카드로부터의 0 V 혹은 5 V의 TTL신호를 TC 245 CCD에 맞는 전압(-9.5 V 혹은 +1.75 V)으로 바꾸어 CCD의 각 픽셀의 전하 이동을 제어한다. 그리고, CCD에서 나온 신호는 약 3.0~3.5 V 사이의 매우 작은 값이므로 프리앰프 카드는 이 전압을 약 18배 증폭시켜서 0 V에서 +10 V의 유효반응범위 값(dynamic range)으로 변환하여 인터페이스카드에 공급한다.

냉각 장치의 종류에는 기계적 냉각(mechanical refrigeration), 액체 가스 냉각(liquefied gas cooling), 열전냉각(thermoelectric cooling) 등이 있으며(Buil 1991), 본 연구에서는 펠티어 (Peltier) 냉각효과를 이용한 열전냉각방식을 채택하였다. 국내에서는 한국 천문연구원에서 열전냉각기를 사용한 CCD 카메라를 개발한 바 있다(Park et al. 2000). 그리고 효율적으로 열전냉각기를 냉각시키기 위해 공냉식 냉각 장치를 제작하였다(그림 3). 공냉식은 열전 냉각기의 열 발생 부분에 냉각 팬을 부착하여 강제 냉각을 시킨다. 연결 부분에는 Loctite 384 열, 전기 전도성 접착제(Loctite Inc.)를 사용하였다. 이 접착제는 속 경화성으로 접착후 견고성과 열전도성이 뛰어나 각종 방열판 등의 접착에 유용하다.

공냉식 이외에 수냉식으로 열전냉각기를 냉각시키는 방법도 있다. 수냉식은 물 펌프를 이용하여 물을 순환시켜서 냉각을 시킨다. 그러나 이 경우 전체적인 시스템 구조가 복잡해지고 물을 순환시키기 위한 모터에 많은 열이 발생하여 장기적 동작 시 모터의 손상을 초래할 수 있다. 또한 튜브 안의 물이 조금씩 증발하여 일정 시간 후 다시 물을 보충해 주어야 하고 겨울에 물이 얼지 않도록 주의해야 하는 단점도 있다. 우리는 수냉식도 제작하여 테스트하였는데, 공냉식과 냉각 효율의 차이를 발견하지 못했다. 따라서 장기간 외부에 노출된 상태에서 무인으로 동작해야 하는 본 카메라의 경우에는 공냉식이 적합하다.



그림 3. 공냉식 시스템의 외부 모습

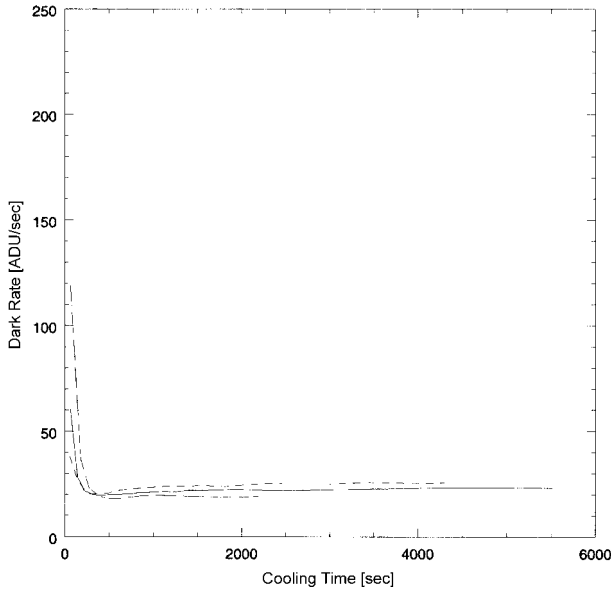


그림 4. 카메라의 냉각 성능 그래프. 냉각 시작 후부터의 암전류 변화를 나타낸 것으로 실선, 점선, 파선(3회 실험)은 각각의 실험 결과를 나타낸다.

CCD 카메라 시스템에 전원을 공급하기 위해 Fine-Suntronix사의 VSF50-EE 개폐형(switching) 전원 공급기를 사용했다. 이 제품은 소형이면서($4 \times 10 \times 15$ cm), 카메라 작동에 필요한 +15 V (1.4 A), -15 V (0.3 A), +5 V (5 A)의 모든 전원을 동시에 공급할 수 있다. 개폐형 전원 공급기는 잡음이 선형(linear) 전원 공급기보다 일반적으로 크지만 (Horowitz & Hill 1989) CCD에 공급되는 전압은 인터페이스 카드에서 2차 적으로 다시 만들어지기 때문에 본 CCD 카메라 시스템에 사용할 수 있다.

III. 카메라 성능 테스트

(a) 카메라 냉각 효율 테스트

CCD는 칩 자체의 온도에서 발생하는 열전자에 의한 암잡음이 있다. 냉각 효율을 실험하기 위하여, 평균 25°C의 실험실에서 3회에 걸쳐 암전류를 측정하였다. 그림 4에서 보면 냉각 시작 후 약 300초까지 암전류 값이 급격히 감소하고, 약 1000초 후에는 완전히 안정됨을 알 수 있다. 안정화되었을 때의 암전류 값은 약 20 ADU sec⁻¹이다.

(b) 유효 반응 범위(Dynamic Range) 테스트

실험실 온도 25°C에서 카메라로 입사되는 빛을 차단한 상태에서 노출 시간에 따른 암전류의 누적 값을 측정하여 유효 반응 범위를 구하였다. 그림 5에서 보면 이 공냉식 냉각 장치로 약 125초까지 최대 노출을 줄 수 있다.

칩 자체를 매우 낮은 온도(-100°C~-120°C)로 유지할 수

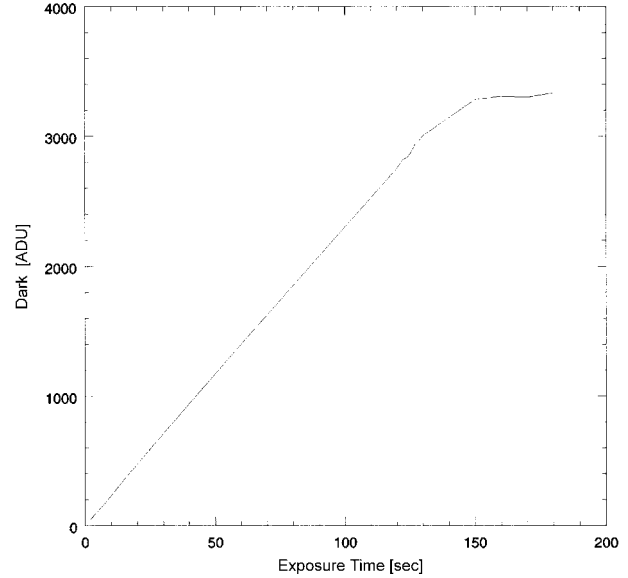


그림 5. 유효 반응 범위(Dynamic Range) 그래프.

있는 액체질소 냉각방식에서는 암전류의 영향이 거의 없어서 장시간의 노출도 가능하지만, 열전냉각기를 사용한 냉각 시스템에서는 노출 가능한 시간이 줄어든다. 그렇지만, 본 카메라의 경우 하늘의 일정 방향을 향한 채 고정되기 때문에 장시간의 노출을 주면 별의 상이 흐르게 되어 실제 관측에서는 1분 이상의 노출은 의미가 없다. 본 카메라의 목적을 위해서는 열전 냉각기로도 충분함을 알 수 있다.

IV. 시야 및 한계등급 테스트

(a) 시야 테스트

본 카메라는 일반 소비자용 35 mm 카메라를 위해서 판매되는 표준 및 광각 카메라 렌즈를 사용하여 최소의 비용으로 넓은 시야를 확보할 수 있었다. 그런데, 어두운 별을 관측하기 위해서는 망원경의 대물렌즈의 구경이 커야하고, 넓은 시야를 얻기 위해서는 대물렌즈의 초점거리가 짧아야 한다. 두 조건을 동시에 만족시키려면 렌즈의 제작이 어려워지고 비용이 올라가기 때문에, 일반 소비자용 카메라는 렌즈의 초점거리를 변화할 때, f비(초점거리/구경)를 1.4 또는 2.8로 고정한다. 따라서 카메라 렌즈의 초점거리가 길어지면 시야가 좁아지지만, 집광력이 더 높아지고, 카메라 렌즈의 초점거리가 짧아지면 그 반대가 된다. 본 연구에서는 상용으로 구입하기 쉬운 Sigma사의 15 mm(초점거리)와 24 mm, Nikon사의 50 mm 렌즈를 사용하였다.

TC 245 칩의 한 화소(pixel)당 크기는 $25.5 \mu\text{m} \times 19.7 \mu\text{m}$ 이다. 전체 유효 화소 수가 252×242 개이므로 칩의 유효한 전체 크기는 $6.426 \text{ mm} \times 4.767 \text{ mm}$ 가 된다. 카메라 실 초점거리를 S_{img} , 카메라의 렌즈의 초점거리를 f , 관측 대상체에 대해 맞춘 카메라의 초점거리를 S_{obj} 라 한다면, 실 초점거리는

표 1. 이론상 계산된 카메라 렌즈의 시야 (F.O.V)

초점거리(f) (mm)	실 초점거리 (mm)	f -비	한 픽셀 크기 ($'$)	전체 시야 ($^{\circ}$)
15	16.0	2.8	5.4×4.3	22.9×17.1
24	25.2	2.8	3.4×2.7	14.6×10.8
50	51.4	1.4	1.7×1.3	7.2×5.3

$$\frac{1}{S_{img}} = \frac{1}{f} - \frac{1}{S_{obj}}$$

가 된다. 또한 우리가 구하고자 하는 시야(Field of View, FOV)는 칩에 상이 맺힐 수 있는 최대 크기와 렌즈의 실 초점거리(S_{img})의 비가 된다. 여기서 렌즈의 실 초점거리가 필요한 이유는 별을 관측할 때에는 대개 무한대(∞)로 렌즈를

맞추고 관측을 하게 되지만 CCD 카메라 제작상의 기계적인 오차로 인하여 실제로는 약간의 초점거리의 차이가 발생하기 때문이다. 당연히 렌즈의 구경(D)은 실 초점거리(S_{img})와 f -비에서 구할 수 있다. 표 1은 렌즈별 초점 거리와 CCD 칩의 각 픽셀 당 크기를 고려해서 계산한 시야를 보여준다.

실제 시야를 측정하기 위한 관측은 2001년 4월 12일 서울대학교 관악 캠퍼스에서 시행되었다. 큰곰자리의 주요 별들은 5-6등급의 밝은 별들이며, 북극성 근처의 별들로 일주운동이 느려 장시간의 노출에도 상의 흐림이 적기 때문에 광해가 심함에도 불구하고 시야를 계산하는데는 좋은 대상이었다.

그림 6에서는 렌즈별로 관측하여 얻은 큰곰자리의 영상과 별자리판(SkyMap Software, <http://www.skymap.com>)을 비교하였다. 계산된 시야와 실제 관측치가 같게 나옴을 알 수 있다.

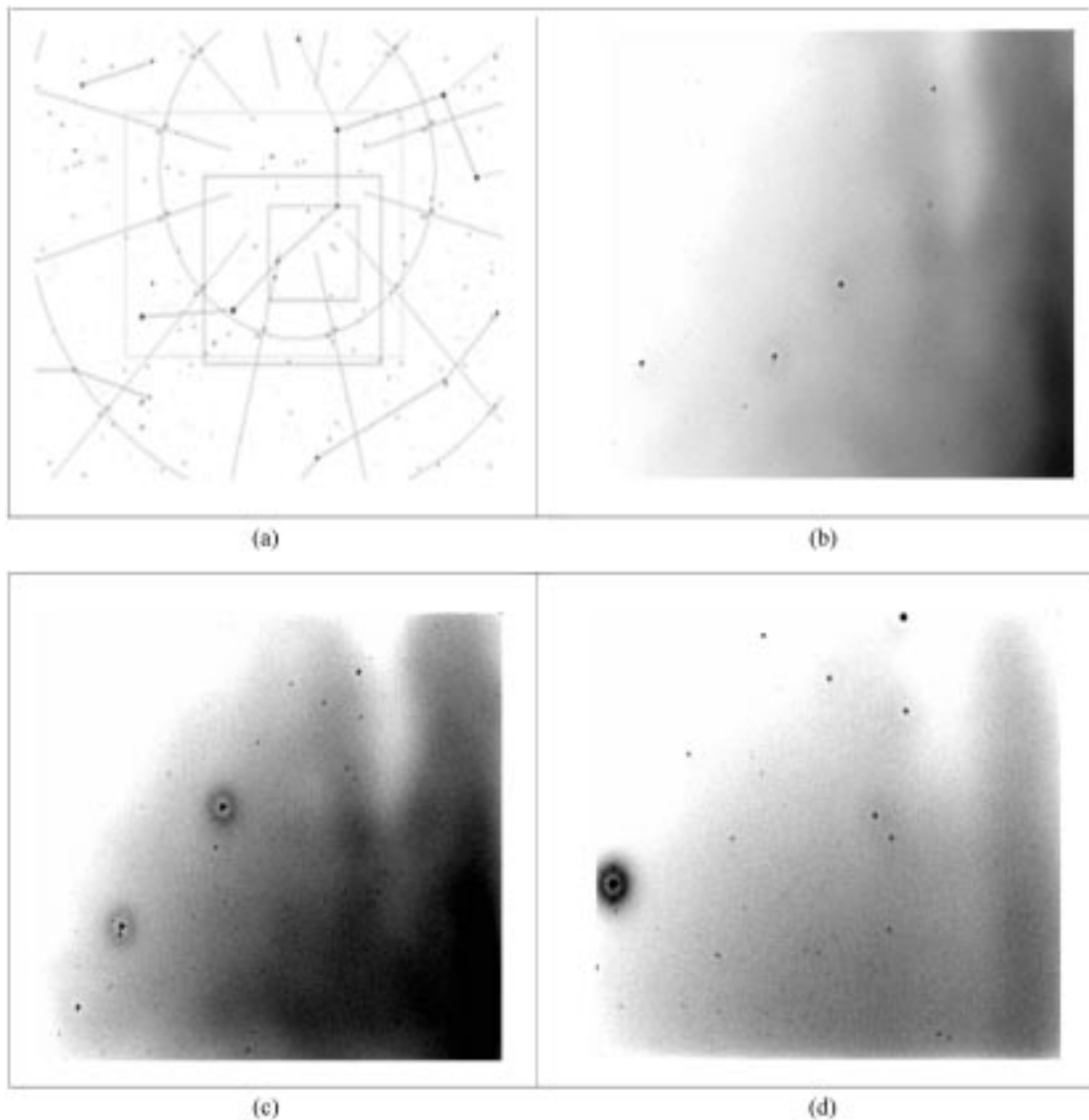


그림 6. 각 렌즈별 시야와 관측 영상. (a) 관측 지역의 별자리판 (SkyMap Software). 3개의 사각형은 각 렌즈별로 실제 관측된 시야를 표시한다. (b) 15 mm 렌즈를 사용한 영상. (c) 24 mm 렌즈. (d) 50 mm 렌즈.

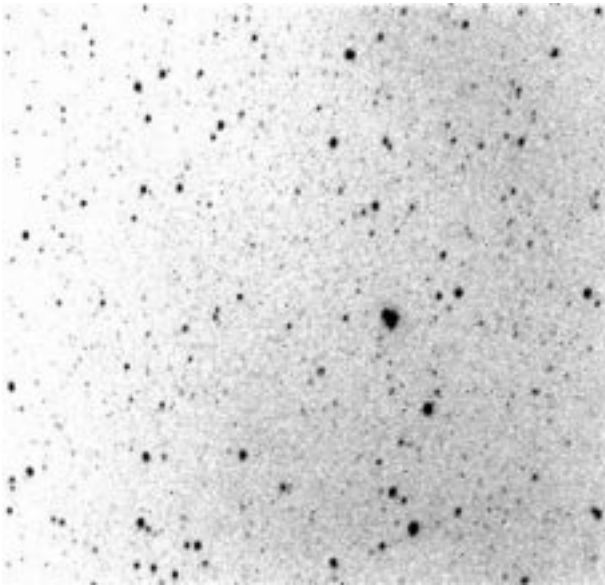


그림 7. 24 mm를 렌즈를 이용하여 보현산에서 관측된(60초 노출) 영상. 광해가 적어 많은 별들이 관측되어 있음을 알 수 있다. 특히 그림 6의 이미지와 선명도가 비교된다. 이 이미지에서는 430 개의 별이 보인다.

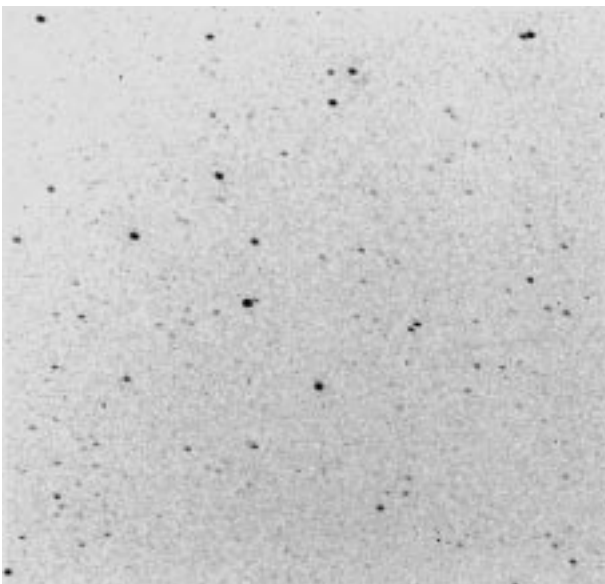


그림 8. 24 mm 렌즈를 이용하여 연세대학교 천문대(충남 천안 소재)에서 관측된(45초 노출) 영상. 전체적으로 별은 고르게 나왔지만 주변에 상현달이 있어서 배경 하늘이 밝은 상태이다.

(b) 테스트 이미지

그림 7은 2001년 3월 22일, 경북 영천 소재 보현산에서 공냉식 CCD 카메라와 24 mm 렌즈를 이용해 60초 노출한 영상이다. 약 430개 이상의 별이 관측되었다. 그림 8은 2001년 5월 31일, 충남 천안의 연세대학교 천문대에서 같은 카메라와 같은 렌즈를 이용하여 45초 노출한 영상이다. 관

측 대상인 큰곰자리 주변에 상현의 달이 있었기 때문에 그림 7보다 배경 밝기가 높은 상태이지만, 여전히 많은 수의 별이 관측되었다. 이는 본 카메라가 관측된 이미지로부터 별의 개수를 세어 밤하늘의 기상 상태를 판단하는데 이용될 수 있음을 보여주는 좋은 예이다.

VI. 결론 및 토의

본 카메라는 CCD Camera Cookbook kit을 응용하여 만든 것으로, 하늘의 기상 상태를 자동으로 판별하기 위한 것이다. 이를 위해 무인 자동 관측 장비에 적합한 열전냉각장치를 만들었다. 냉각 효율과 유효 반응 범위를 테스트 한 결과 사용 목적에 적절함을 알 수 있었다.

이 카메라가 기상 관측용으로써 사용되기 위해서는 카메라의 시야(FOV)와 관측되는 별의 수를 알아내는 것이 중요하다. 특히 본 카메라는 더 넓은 시야를 얻기 위해서 망원경에 카메라를 장착하지 않고, 상용으로 사용되는 카메라의 렌즈를 사용하였다. 범용으로 사용되고 있는 Sigma사의 15 mm(초점거리), 24 mm, Nikon사의 50 mm 렌즈를 이용하여, 이들의 시야(FOV)의 테스트 결과는 이론적으로 예상한 값과 일치하는 $22.9^\circ \times 17.1^\circ$, $14.6^\circ \times 10.8^\circ$, $7.2^\circ \times 5.3^\circ$ 였다. 특히, 시그마(Sigma)사의 24 mm 렌즈를 이용하여 관측된 영상을 보면 광해가 적은 곳에서는 약 400개 이상의 별이 관측되어 하늘의 기상상태를 판별하기에 충분함을 알 수 있다.

본 연구는 한국천문연구원의 “인공위성 및 지구접근천체 감시연구(국가지정연구실 사업)”의 일환으로 수행된 것이다. 또한 CCD Camera Cookbook Kit의 신호처리와 작동원리에 대해 도움을 준 강종현과 김수현에게 감사한다.

참고문헌

- Berry, R., Kanto, V., & Munger, J. 1994, The CCD Camera Cookbook (Richmond: Willmann-Bell Inc.)
- Buil, C. 1991, CCD Astronomy (Richmond: Willmann-Bell Inc.)
- Han, W. 1994, JA&SS, 11, 11
- Hogg, D. W., Finkbeiner, D. P., Schlegel, D. J., Gunn, J. E., 2001, AJ, 122, 2129
- Horowitz, P., & Hill, W. 1989, The Art of Electronics (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 402
- Hull, C. L., Limmongkol, S., & Siegmund, W. A. 1994, Proc. SPIE, 2199, 852
- Jin, H., Han, W., Nam, U.-W., Lee, J., Lee, S., & Lee, W.-B. 1997, JA&SS, 14, 259
- Richmond, M. W., Treffers, R. R., & Filippenko, A. V. 1993, PASP, 105, 1164
- Texas Instruments. 1991, Technical Notes of TC245 (Dallas: Texas Instruments Inc.)
- Park, B. G., Chun, M. Y., & Kim, S. L. 1995, PKAS, 10, 67
- Park, Y., Lee, C., Jin, H., Han, W., Nam, U.-W., & Lee, Y.-S. 2000, JA&SS, 17, 53