

보현산천문대 단주기변광성 탐사(SPVS) 연구  
SHORT-PERIOD VARIABILITY SURVEY (SPVS) IN BOAO

전영범<sup>1</sup>, 김승리<sup>1</sup>, 박운호<sup>1</sup>, 박병곤<sup>1</sup>, 이충욱<sup>1</sup>, 이은정<sup>1,2</sup>, 김민수<sup>1</sup>, 이경훈<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

<sup>2</sup>한국교원대학교

<sup>3</sup>한국과학영재학교

YOUNG-BEOM JEON<sup>1</sup>, SEUNG-LEE KIM<sup>1</sup>, YOON-HO PARK<sup>1</sup>, BYEONG-GON PARK<sup>1</sup>, CHUNG-UK LEE<sup>1</sup>,  
EUN-JEONG LEE<sup>1,2</sup>, MIN-SU, KIM<sup>1</sup>, AND KYUNG-HOON LEE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, 61-1 Hwaam-dong, Yuseong-gu,  
Daejeon, 305-348, Korea

*E-mail: ybjeon@kasi.re.kr*

<sup>2</sup>Korea National University of Education

<sup>3</sup>Korea Science Academy

(Received November 14, 2005; Accepted December 14, 2005)

ABSTRACT

We have been performing a wide-field photometric monitoring program, named SPVS (Short-Period Variability Survey), at the Bohyunsan Optical Astronomy Observatory (BOAO). The observation system consists of a small refracting telescope ( $D = 155$  mm,  $f = 1050$  mm) and a  $2k \times 3k$  CCD Camera. The field of view is  $1.0^\circ \times 1.5^\circ$ . Detection limit is about  $V = 13$  for short-period small amplitude variables such as  $\delta$  Scuti-type pulsating stars, and about  $V = 15$  for long-period large amplitude variables such as eclipsing binaries and RR Lyrae stars. The instrument is designed to be remote-controlled through internet. The primary purpose of this project is to search for variable objects in bright Galactic open clusters. We present results of test observations conducted towards NGC 7092.

*Key words:* observations — wide-field: stars: variables — short-period — eclipsing binaries

1. 서론

최근 ASAS(The All Sky Automated Survey; Pojmanski 2002), ROTSE(Robotic Optical Transient Search Experiment; Akerlof et al. 2000)와 NSVS(Northern Sky Variability Survey; Wozniak et al. 2004) 등과 같이 소형 탐사 망원경을 이용한 전천 관측을 통해 다양한 변광천체들이 새로 발견되고 있다. 그러나  $\delta$  Scuti형 맥동 변광성과 같이 주기가 짧고 변광 진폭이 작은 천체는 상대적으로 새로 발견되는 숫자가 매우 적은 편이다. 이것은 기존의 탐사관측이 짧은 기간에 전천을 탐사하여 체계적인 통계자료를 얻는데 목적이 있어서 가능한 한 번에 찍을 수 있는 관측시야를 넓게 확보함으로써 단위화소당 관측시야가 약 30각초 이상되어 측광오차가 상대적으로 크기 때문이다. 또한 관측영역을 이동해 가면서 찍기 때문에 같은 관측영역에 대한 관측회수가 많지 않아서 주기가 짧은 변광성은 찾기가 어렵다. 특히  $V = 10$ 에서  $V = 13$  범위의 단주기 변광성에 대한 연구는 예를 찾기가 어렵다.

이러한 관점에서 보현산천문대 직경 155 mm 굴절 망원경( $f = 1050$  mm)에 충분히 작은 단일 화소크기를 가지는 넓은 CCD 카메라를 부착하여 좋은 측광 정밀도로 단주기 변광성을 탐사하기 위한 시스템을 구성하였다. 이 시스템으로는  $V = 9$ 에서  $V = 13$  범위의 단주기 변광성을 효율적으로 탐사할 수 있으며, 약  $V = 15$ 의 진폭이 큰 식쌍성이나 RR Lyrae 변광성 및 Cepheid 변광성 등을 관측할 수 있을 것으로 기대한다. 이 논문에서는 원격 관측시스템 구축 내용과 관측 및 측광 과정을 설명하고, 그 동안의 시험관측에 대해 산개성단 NGC 7092의 결과를 예로 들어 간단히 제시하였다. 이러한 시험관측을 통해 이 연구의 주요 관측 대상인 우리은하 내의 밝은 산개성단에 있는 변광천체들의 탐사 관측이 소형 망원경으로도 충분히 가능함을 보여준다. 또한 관측 기기 상태와 국내 기상 여건 등을 고려하여 이 연구에서 수행하고 있는 관측 전략에 대해 검토하였다.

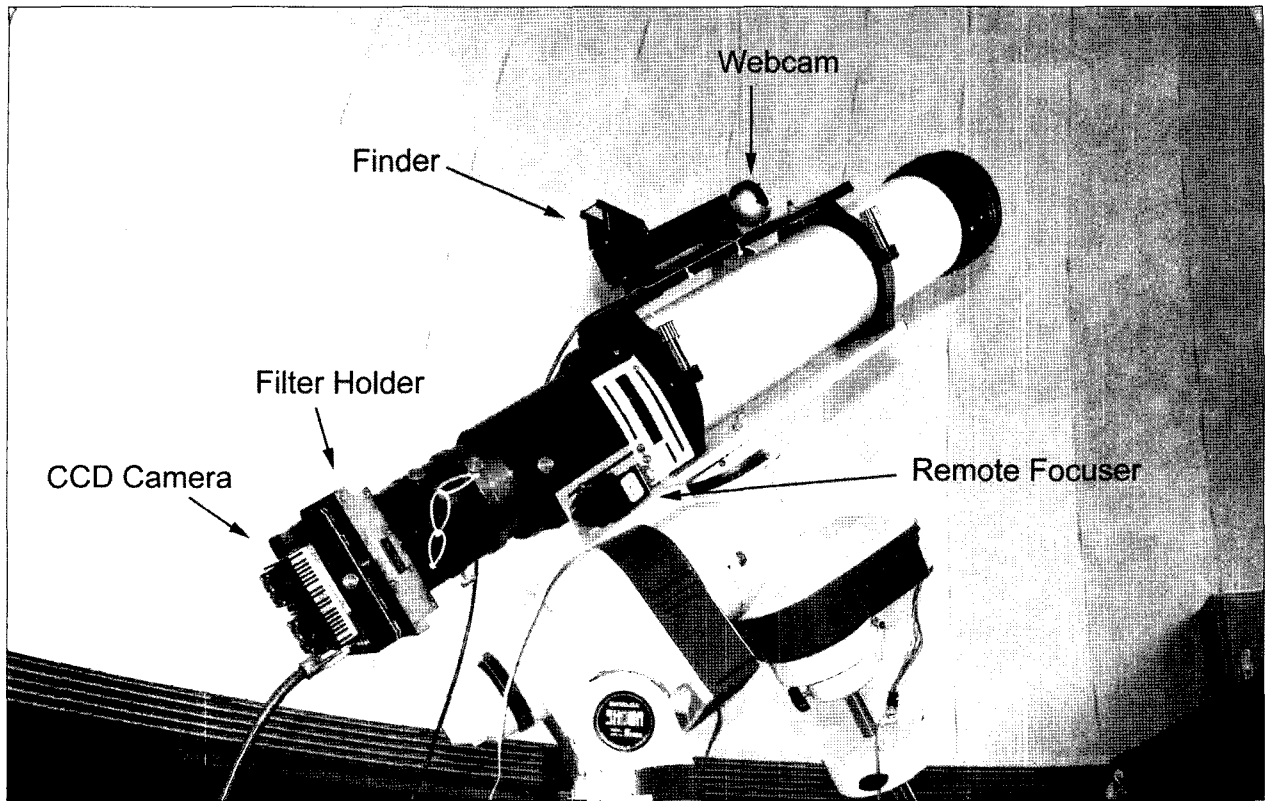


그림 1.— 주 관측 장비인 155 mm 굴절 망원경에 CCD 카메라가 부착된 모습. 돔의 위치를 확인하기 위한 웹카메라(Webcam)와 등배울 파인더(Finder), 필터홀더(Filter Holder), 그리고 원격으로 초점을 조정할 수 있는 장치(Remote Focuser)가 부착되어 있다.

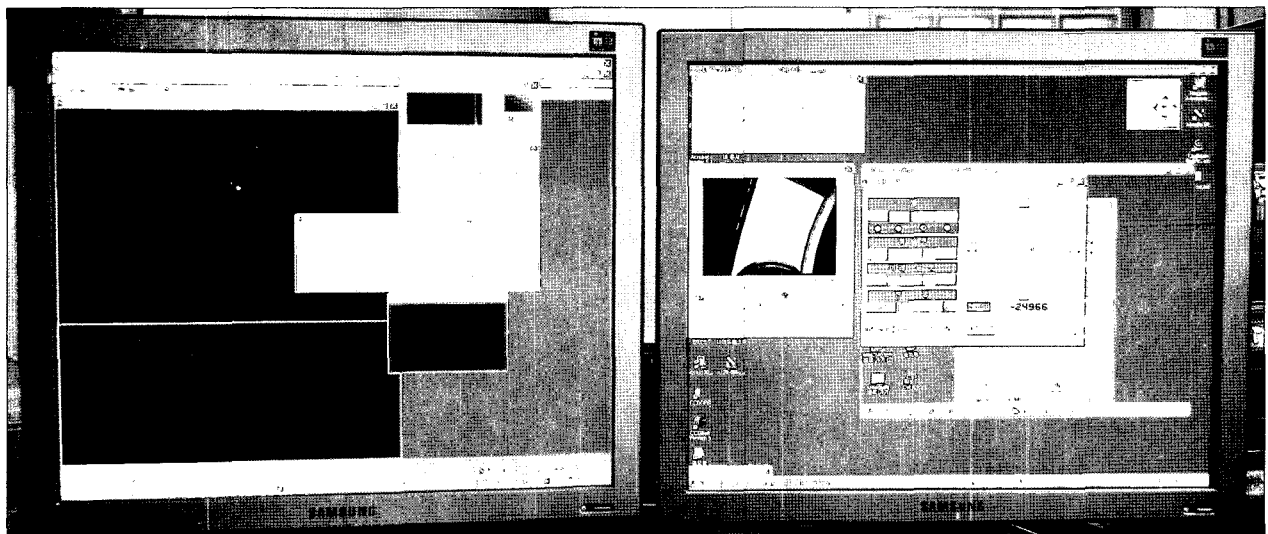


그림 2.— 원격관측 화면. 왼쪽은 CCD 카메라에 의한 영상관측 장면이며, 오른쪽은 돔 슬릿의 위치확인 화면과 돔 구동 화면 및 초점조정 화면을 보인 것이다.

## 2. 관측시스템

### 2.1. 경통부와 마운트

그림 1은 관측 시스템을 보여준다. 망원경의 주요 사양은 다음과 같다. 먼저 경통부는 구경 155 mm인 굴절망원경이며, 초점거리는  $f = 1050$  mm로서 구경비가  $F = 7$ 이다. 이 경통은 수차보정렌즈를 사용할 경우 사진관측시 6 cm × 7 cm 필름까지 사용이 가능한데, 이 경우 관측 시야는 약  $3.0^\circ \times 3.6^\circ$  가 된다.

사용하는 마운트는 독일식 적도의 마운트로서, 상용화된 Skysensor 2000 PC(Skysensor 2000)로 구동된다. Skysensor 2000은 별 세개를 찾아서 삼점맞추기(three-point alignment)를 하면 이후 망원경이 관측 대상별로 찾아갈 수 있는데, 내장되어 있는 NGC 천체, 메시에 천체, 행성, 기준별 목록 등을 이용할 수 있어서 편리하다. 또한 컴퓨터와 연동되어 원격제어가 가능하다.

### 2.2. CCD 카메라

$\delta$  Scuti형 변광성과 같이 변광진폭이 작고, 주기가 짧은 변광성을 효율적으로 찾기 위해서는 단위화소당 관측 시야가 너무 크지 않고, 따라서 측광 정밀도를 높일 수 있는 CCD 카메라 선택이 필요하다. 상용화된 CCD 카메라 중에서 Apogee 사의 AP9E 모델이 우리의 조건에 잘 맞았다. AP9E는 Kodak 사의 KAF6303E 칩을 장착하고 있는데, 2048 화소 × 3072 화소를 가지고 있으며, 각 화소의 크기는  $9 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m}$  로써 155 mm 굴절망원경에 부착하였을 때 단위화소당 1.77 arcsec의 관측 시야를 가진다. 따라서 전체 CCD 카메라가 담을 수 있는 관측영역은  $1.0^\circ \times 1.5^\circ$ 이다. 이 정도면 대부분의 산개성단을 한 시야에 담을 수 있다. AP9E는 전기 냉각 방식으로써 영하  $30^\circ\text{C}$  이하까지 냉각할 수 있으나 영하  $25^\circ\text{C}$  이하에서는 CCD 창에 성애가 쉽게 발생하여 어쩔 수 없이 영하  $20^\circ\text{C}$  에 맞추어 관측이 이루어지고 있다. CCD 화면 전 영역을 읽어내는 시간은 약 8초로서 비교적 짧기 때문에 빠른 주기 변화를 관측하는데 유리하다. 이 CCD 카메라 이득값과 읽기 잡음은 각각  $8.9 e^-/\text{ADU}$ 와  $20 e^-$  이다. 또한 KAF6303E 칩의 양자효율은 R 필터 영역에서 최대 약 65%이다. CCD 카메라 앞에는 5 cm × 5 cm 필터를 끼울수 있는 필터 홀더를 부착하였으며, 이 연구에서는 Johnson V 필터를 사용하였다.

### 2.3. 원격관측 시스템

그림 1에서 웹카메라와 원격조점조정기는 원격관측을 위해 부착된 것이다. 실제 원격관측은 보현산천문대 내부 네트워크망 안에서 주로 이루어진다. 그림 2는 두 대의 모니터를 이용한 원격관측 화면을 보인 것이다. 왼쪽 화면은 CCD 카메라에 의한 영상관측 장면인데 MaxIm DL이라는 상용 소프트웨어를 사용한다. 그

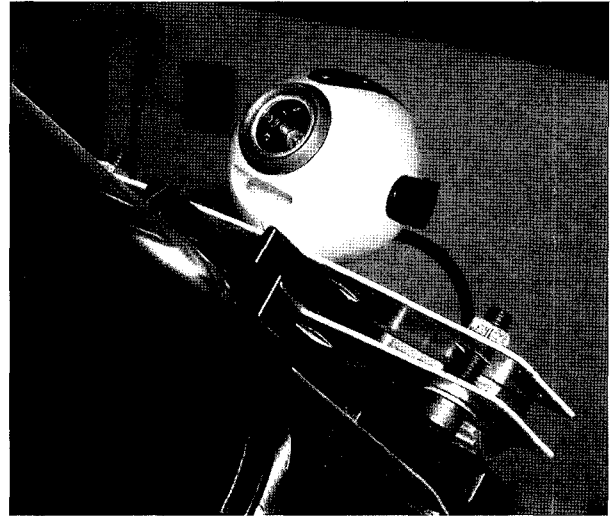


그림 3.— 슬릿 모니터용 웹카메라.

림 2의 오른쪽 화면은 초점조정, 돔 슬릿의 위치조정을 위한 것이다. 원격제어에는 Remote Administrator Viewer(Radmin)라는 상용 소프트웨어를 사용한다. 이 소프트웨어는 한국천문연구원 레몬산천문대 1 m 망원경의 원격관측에도 사용되고 있다.

망원경이 원하는 대상을 찾아가면 돔을 돌려서 망원경과 같은 방향이 되도록 하여야 하는데 이 때는 그림 3의 웹카메라로 바라본 슬릿의 중심이 화면의 중심에 오도록(그림 4) 돔 제어 프로그램으로 돔을 움직여준다. 그림 5의 돔 제어 프로그램을 사용하기 위해서는 별도의 컴퓨터에 접속하여야 하며, 상/하부 돔 슬릿 여닫기, 돔 내부 전등의 켜고 끄기 및 돔 회전 등이 가능하다. 이 돔은 망원경의 좌표와 연동되어 자동으로 회전하도록 할 수 있으나 현재 155 mm 굴절망원경은 6 m 돔의 중심에서 벗어난 지역에 놓여서 자동 연동이 안되고 있다. 북쪽하늘의 대상을 관측할 경우 자오선을 넘어서는 시점부터는 돔의 이동이 거의 필요 없는 상황이 되기 때문에 돔의 회전에 큰 어려움이 없지만, 남쪽 하늘의 관측 대상에 대해서는 계속 모니터하면서 돔을 돌려 주어야 한다.

그림 6은 원격제어가 가능한 디지털 초점조정기가 부착된 모습이다. 조정기의 버튼을 눌러서 직접 조정도 가능하고 그림 7과 같이 디지털 수치를 입력하여 원격조정도 가능하다. 망원경의 초점을  $\mu\text{m}$  단위로 맞출 수 있어서 아주 정밀한 초점 맞추기가 가능하다. 이 초점 조정기도 MaxIm DL로 구동된다.

표 1에 관측에 사용한 관측 장비와 각각을 구동하는 소프트웨어 등을 정리하였다.

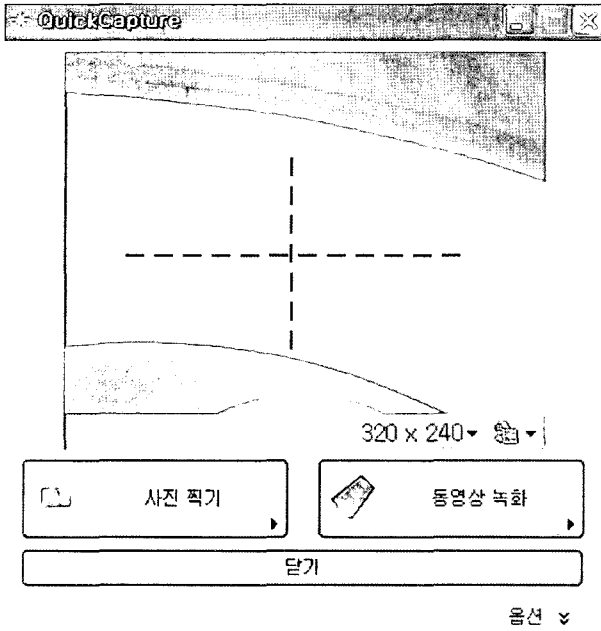


그림 4.— 웹카메라로 찍은 돔 슬릿의 모니터 상의 위치.

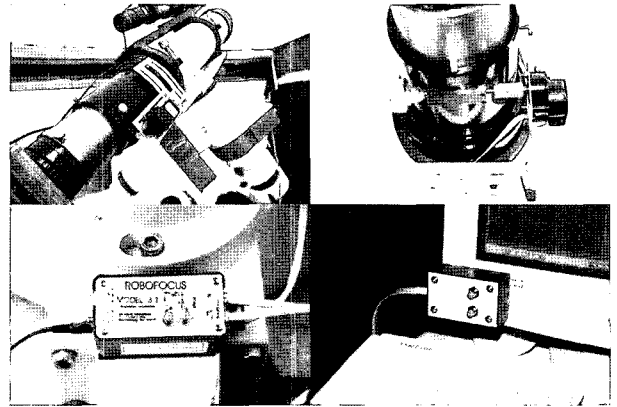


그림 6.— 원격제어가 가능한 디지털 초점조정기.

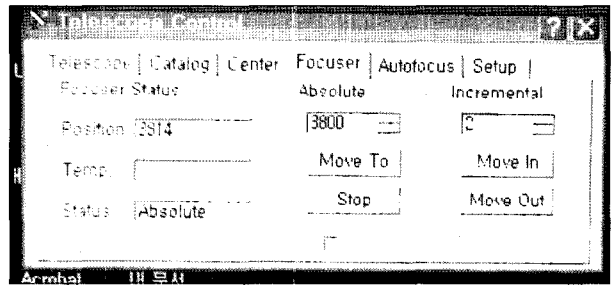


그림 7.— 원격 초점 조정화면.

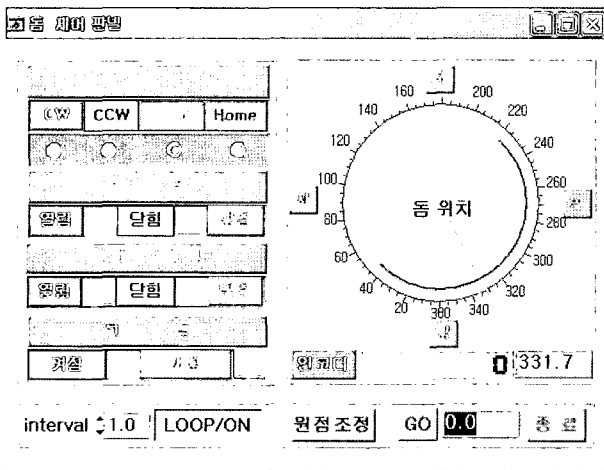


그림 5.— 돔 제어 프로그램.

표 1.— 관측 장비 및 소프트웨어 목록.

주제	제원
경통부	155 mm 굴절 ( $f = 1050$ mm), Astro-Physic 사
마운트	독일식 적도의, 쇼와 New 20E
마운트 구동 소프트웨어	Skysensor 2000 PC
마운트 원격구동 소프트웨어	MaxIm DL
원격접속 소프트웨어	Remote Administrator Viewer
초점조정기	ROBOFOCUS
초점조정 소프트웨어	MaxIm DL
웹카메라 구동	MaxIm DL
필터	Johnson V
CCD 카메라	Apogee, AP9E, 2048 pixel $\times$ 3072 pixel 9 $\mu\text{m}/\text{pixel} \times 9 \mu\text{m}/\text{pixel}$
CCD 카메라 구동	MaxIm DL
관측 시야	1.0° $\times$ 1.5°

### 3. 관측 및 측광

본 연구에서는 망원경의 추적성능을 고려하여 150초 노출로 관측하고 있다. 이 경우 약  $V = 9.5$  보다 밝은 별은 포화되어 관측이 어려워진다. 따라서 관측 시야 내에서 이보다 밝은 별들에 대한 변광 여부를 알아보기 위해 30 초 ~ 50 초의 단주기 노출을 병행하였다. 시스템 구성 초창기 자료에서도 짧은 주기를 가지는  $\delta$  Scuti 형 변광성의 경우 150초 노출에  $V = 13$  이상에서 관측이 되었고, 진폭이 큰 식쌍성이나 RR Lyare 변광성의 경우  $V = 15$  이상에서도 검출되었다 (Jeon et al. 2004a, 2005b). 단주기 변광성의 경우 필터 없이 관측하여 한계등급이 더 어두워진 경우보다  $V$  필터를 사용한 경우에 측광 정밀도가 더 좋았다 (Jeon et al. 2005b).

관측된 CCD 영상자료는 IRAF/CCDRED (Stetson 1987; Massey & Davis 1992)를 이용하여 전처리 과정을 수행하였다. AP9E CCD 카메라는 overscan 영역이 없어서 영점보정, 암잡음보정 및 플랫보정 순으로 전처리가 이루어졌으며, 마지막으로 IRAF의 cosmicray 프로그램으로 우주선을 제거하였다. 그림 8은 위로부터 전처리 과정의 영점보정, 암잡음보정 및 플랫보정 영상이며, 제일 아래에는 전처리가 완료된 산개성단 NGC 7092의 영상이다. 영점보정과 암잡음보정 영상은 각각 20장 이상씩 얻어서 합쳤으며, 플랫보정 영상은 시간이 허락하는 범위 내에서 10 ~ 20 장씩 얻었다. 암잡음 영상은 아주 불균질하여 시간에 따른 변화가 다소 우려되기도 하지만 보정 후 영상에서는 거의 대부분의 암잡음이 깨끗하게 제거됨을 알 수 있었다. 플랫영상의 경우 중심부와 외곽부 사이 밝기 차이가 아주 크게 나타나는데 이것은 망원경의 비그네팅(vignetting) 문제에 기인한 것이며, 플랫 보정이 이루어진 영상에서 배경하늘의 플랫 오차는 1% 미만으로 아주 좋다. 하지만 열은 구름이 있는 등 하늘이 깨끗하지 못한 경우에는 플랫의 형태가 변하여 보정 후 오차가 아주 커지는 경향을 보여서 이런 경우에는 이전에 관측된 맑은 하늘의 플랫으로 보정하는 것이 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

측광은 IRAF/DAOPHOT의 phot 프로그램을 사용하여 구경측광하였으며, 시상의 2.5 - 4배 되는 구경을 사용하였다. 155 mm 굴절 망원경의 추적성능 문제로 별의 모양이 상당히 찌그러져 관측된 영상은 충분히 큰 구경을 사용하였다. 하지만 산개성단의 경우 구경을 작게 하는 것이 주변 별의 영향을 적게 받아서 결과가 더 좋게 나오고 있다. 따라서 3.5, 5.0, 8.0, 10.0의 다양한 구경을 사용하여 관측대상에 따라 적합한 구경의 측광값을 사용하고 있다. Cepheid형 변광성 TU Cas 주변의 날별을 관측한 Jeon et al.(2005b)에서는 관측 중 별이 많이 흘러서 큰 구경의 8.0이 좋았으며, 반면 산개성

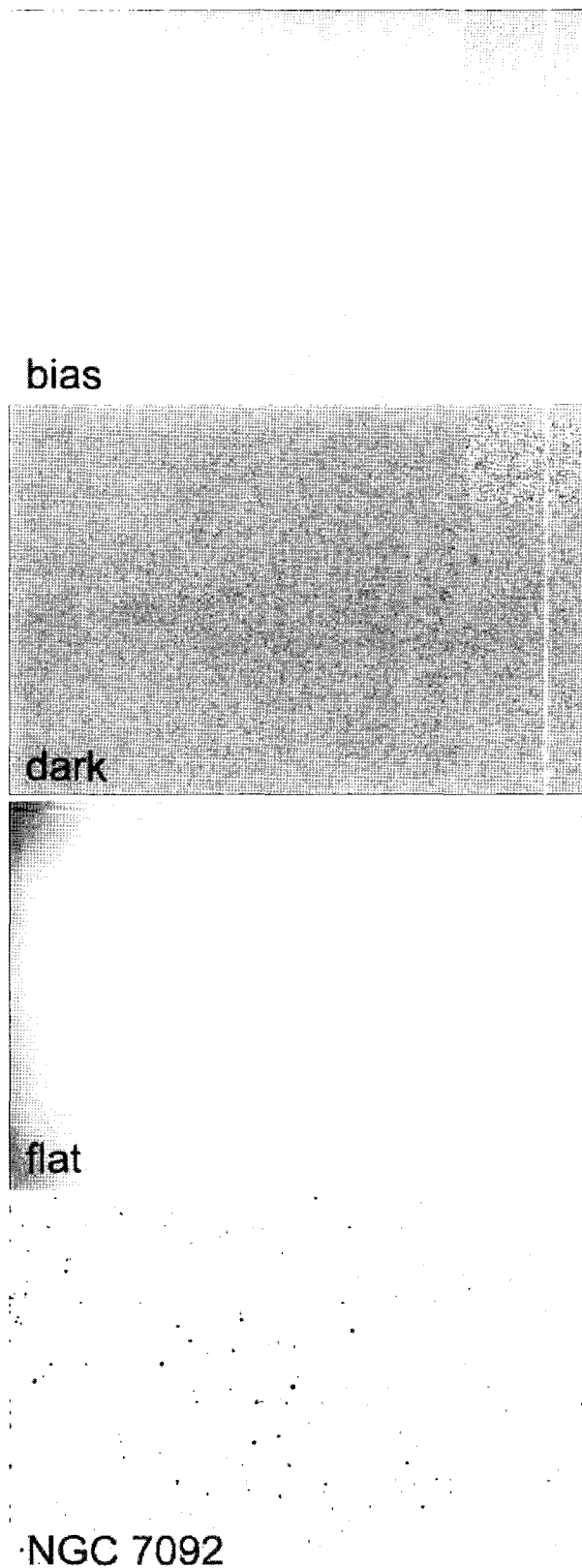


그림 8.— 전처리 보정용 영상 및 전처리 완료 후의 NGC 7092 영상.

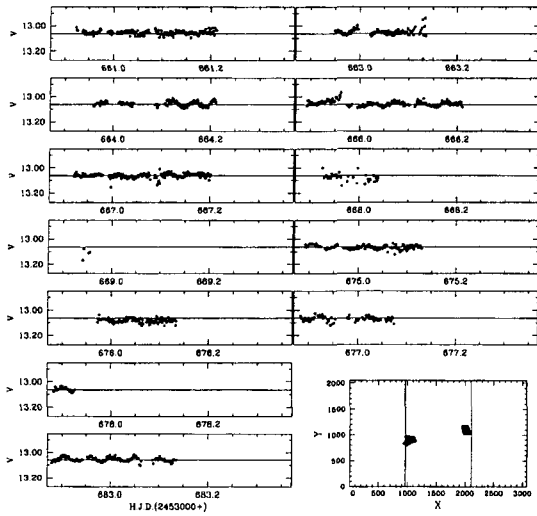


그림 9.— NGC 7092에서 관측된  $\delta$  Scuti 형 변광성의 광도곡선 예.

단 NGC 7092는 구경 3.5에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다(Jeon et al. 2005a).

변광성을 찾는 과정은 Jeon et al.(2004b) 등의 방법과 같이 육안에 의한 광도곡선의 변화를 살펴서 이루어진다. 그림 9는 12일간 관측된 NGC 7092에서 발견된  $\delta$  Scuti 형 변광성 중 하나로 미세하게 변하는 광도곡선을 보여준다. 이 변광성의 등급은  $\langle V \rangle = 13.06$ 이며, 주기는 0.049 day, 변광폭은 0.04에 불과하다. 그림 9에서 오른쪽 아래에 위치한 작은사각 그림은 관측 중 망원경의 추적 성능으로 인해 CCD 상에서 별의 위치가 이동한 양을 보인 것이다. 화면상의 두 군데에 관측자료점이 모여 있는데 이것은 독일식 적도의 마운트에서 관측 대상이 자오선을 넘어가면 망원경을  $180^\circ$  회전시켜 주어야하기 때문에 발생하며, CCD 중심을 기준으로  $180^\circ$  회전된 곳에 다시 별의 상이 맺힌다. 세로로 나타난 두 실선은 CCD 화면에 있는 손상된 화소선이다. 이 선 역시  $180^\circ$  회전하기 때문에 두 줄로 나타난다.

#### 4. 검토

관측과정은 아직 완전 자동화가 어려운 상황이며, 관측자가 1 ~ 2 시간에 1 회 정도 망원경이 있는 돔에 다녀와야하는 번거로움이 있다. 가장 큰 이유는 망원경 마운트의 기계적인 성능의 한계로 원격관측으로는 미세조정이 어렵기 때문이다. 또한 독일식 적도의 마운트의 경우 관측 대상이 자오선을 넘어가면 망원경이 마운트와 부딪힐 수 있어서  $180^\circ$  회전을 수동으로 시켜줘야 한다. 따라서 실제 관측에서는 특별한 경우(예:

집에서 원격관측)가 아니면 망원경의 미세조정은 부득이 망원경의 키패드를 사용하고 있다.

망원경 마운트의 성능한계(즉, 일정하지 않은 백래쉬) 때문에 자동 추적장치는 사용하지 않고 있다. 이로 인해 노출시간이 150 초로 제한되고, 1 ~ 2 시간에 한번 정도는 관측 영역을 다시 보정해 주어야하는 문제점을 내포하고 있다. 또한 빠른 속도로 움직이기에는 마운트에 부착된 모터의 힘이 약하여 가이드용의 추가 경통을 부착하면 추적에는 어려움이 없으나 빠른 속도의 움직임에는 다소 무리가 따랐다. 이러한 어려움에도 불구하고 150 초 노출에 비교적 정밀한 추적 성능을 보여서 측광연구에 어려움이 전혀 없다. 특히 여러 가지 노출로 점검을 해 본 결과 정밀한 광도곡선을 얻는 데는 150 초가 가장 적절하였고, 추적 상태가 안좋아서 별이 1 ~ 3 화소 정도씩 흘러도 측광시 충분히 큰 구경을 사용함으로써 큰 어려움이 없었다.

이 연구의 주 관측 대상은 우리은하 내 밝은 산개성단이다. 그 중에서도 시야가 넓어서 큰 망원경으로 관측하기에 어려움이 있는 대상을 우선적으로 골라서 관측을 수행하고 있다. 0.5 m 이하의 소형 광시야 망원경은 주로 전천 탐사 관측(Pojmanski 2002; Akerlof et al. 2000; Wozniak et al. 2004)에 이용하고 있고, 0.6 - 2.0 m급의 중 소형 측광관측용 망원경들은 관측 시야가 넓지 않기 때문에 구상성단이나 멀리 떨어진 어두운 산개성단에 대한 변광천체 탐사관측(Jeon et al. 2004b, von Braun et al. 2005, Mochejska et al. 2004)을 수행하고 있다. 이런 점 때문에 약  $0.5^\circ \sim 1.0^\circ$ 로 넓게 분포한 밝고 가까운 산개성단들에 대한 장기간 정밀 시계열 측광 관측 연구는 현재까지도 매우 미비한 상태이다. 또한 가을과 겨울에 맑은 날이 많은 국내 기상 여건을 고려하면 밝고 가까운 산개성단들이 비교적 많이 이 기간에 관측 가능한 위치에 있어서 적절한 탐사대상이 될 수 있다. 한 성단에 대해 15 일 정도의 관측 자료를 얻기 위해서는 거의 1 ~ 2 개월의 기간을 고려할 경우 가을, 겨울 동안에 4 ~ 5 개의 성단을 관측할 수 있다. 이 연구를 통하여 산개성단에 있는 단주기 변광성인  $\delta$  Scuti 변광성을 체계적으로 탐사하고, 주기-광도 관계 등의 연구에 통계적인 의미를 가질 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- Akerlof, C., Amrose, S., & Balsano, R., et al., 2000, ROTSE All-sky Surveys for Variable Stars. I. Test Fields, AJ, 119, 1901  
 Jeon, Y.- B., Kim, S.- L., Park, Y.- H., Nam, K.- H., Kim, K.- H., Kim, J.- Y., Kim, D.- K., Jin, K.- I., & Kim, S.- H., 2004a, A New Field  $\delta$  Scuti Star : HD 235428, PKAS, 19, 27

- Jeon, Y.- B., Kim, S.- L., Park, Y.- H., Park, B. G., Lee, C.- U., & Lee, E.- J., 2005a, The Variable Stars around the Open Cluster NGC 7092, in preperation
- Jeon, Y.- B., Lee, M. G., Kim, S.- L., & Lee, H., 2004b, SX Phoenicis Stars in the Globular Cluster NGC 5466, *AJ*, 128, 287
- Jeon, Y.- B., Park, Y.- H., Nam, K.- H., & Lee, K.-H., 2005b, New Field Variable Stars around TU Cas, in preperation
- Massey, P. & Davis, L. E., 1992, A User's Guide to Stellar CCD Photometry with IRAF
- Mochejska, B. J., Stanek, K. Z., Sasselov, D. D., Szentgyorgyi, A. H., Westover, M., & Winn, J. N., 2004, Planets in Stellar Clusters Extensive Search. II. Discovery of 57 Variables in the NGC2158 with Millimagnitude Image Subtraction Photometry, *AJ*, 128, 312
- Pojmanski, G. 2002, The All Sky Automated Survey. Catalogue of Variable Stars. I.  $0^h - 6^h$  Quarter of the Southern Hemisphere, *Acta Astronomica*, 52, 397
- Stetson, P. B., 1987, DAOPHOT - A Computer Program for Crowded-Field Stellar Photometry, *PASP*, 99, 191
- von Braun, K., Lee B. L., Seager, S., Yee, H. K. C, Mallen-Ornelas, G., & Gladders, M. S., 2005, Searching for Planetary Transits in Galactic Open Clusters: EXPOLRE/OC
- Woźniak, P. R., Vestrand, W. T., & Akerlof, C. W, et al., 2004, Northern Sky Variability Survey: Public Data Release. *AJ*. 127. 2436