

밝은 장주기 변광성관측을 위한 자동관측시스템 구축

윤요나^{1,2,3†}, 이충욱³, 차상목^{1,3}, 김용기^{1,2,4}

¹충북대학교 천문우주학과

²충북대학교 천문대

³한국천문연구원

⁴충북대학교 기초과학연구소

A CONSTRUCTION OF AN AUTOMATIC OBSERVATION SYSTEM FOR BRIGHT AND LONG PERIOD VARIABLE STARS

Joh-Na Yoon^{1,2,3†}, Chung-Uk Lee³, Sang-Mok Cha^{1,3}, and Yonggi Kim^{1,2,4}

¹Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

²Chunbuk National University Observatory Cheongju 361-763, Korea

³Korea Astronomy Observatory, Deajon 305-348, Korea

⁴Chunbuk National University Basic Science Research institute Cheongju 361-763, Korea

E-mail: antalece@kasi.re.kr

(Received March 5, 2006; Accepted March 27, 2006)

요 약

밝은 장주기 변광성들을 효율적으로 관측하기 위하여 충북대학교 교내에 자동관측시스템을 구축하였다. 이 시스템의 구성을 위하여 기존의 Meade사 LX200 40cm 망원경의 구동부를 개선하고, ObsTool II라는 관측프로그램에 의하여 망원경, CCD 카메라, 돐의 제어가 하나의 프로그램으로 가능하도록 구성하였다. ObsTool II는 COM(Common Object Module)을 이용하여 개발한 프로그램으로서 시스템을 구성하는 망원경이나 CCD 카메라의 기종이 바뀌어도 큰 수정 없이 시스템을 재구성할 수 있다. 또한, 이 시스템은 광전측광관측처럼 변광성, 비교성, 검토폭성 등을 오가는 기능을 가지고 있어 CCD의 시야에 적당한 비교성이 함께 들어오지 않더라도 관측이 가능하다. 이 논문에서 새롭게 구성한 자동관측시스템의 안정성을 검토하기 위하여 W UMa형 변광성 V523 Cas와 자기 격변변광성 TT Ari를 관측하여 그 결과를 제시하면서 본 논문에서 개발한 시스템들의 활용가능성을 토의하였다.

ABSTRACT

An automatic observation system has been constructed at Chungbuk National University for the purpose of monitoring the bright and long period variable stars effectively. We improved the control part of 40cm telescope of the LX 200 and developed an observing software ObsTool II so that the telescope, CCD camera and dome can be controlled in one software. ObsTool II is a COM (Common Object Module) based software, which can be easily reprogrammed in case that a new telescope or CCD camera is installed. Because this system has an additional function in which the telescope can switch the variable, comparison, and check stars respectively as like a photoelectric observation, we can observe the variable star even if the CCD view field does not contain the comparison star with the variable star. In order to check the system stability a W UMa type variable V523 Cas and a magnetic cataclysmic variable

[†]corresponding author

TT Ari have been observed with the constructed system and the results have been discussed in context with the possibility of a further application of our automatical observation system.

Key words: automatic control system, instrumentation

1. 서 론

변광천체의 연구를 통해 그동안 항성들의 물리적인 특성이 많이 밝혀져 왔으나 최근 망원경과 관측장비의 발달로 인해 어두운 천체로 그 연구 대상이 바뀌어 지고 있다. 특히 밝은 변광천체의 경우는 망원경의 제한된 관측시간으로 인해 최근 연구가 활발하게 진행되지 못하고 있는 실정이다. 더욱이 좁은 관측시야를 지닌 CCD관측시스템의 경우 변광천체와 비슷한 밝기나 색을 가진 비교성을 선택하기 어렵고 너무 밝은 변광성은 쉽게 포화되어버리기 때문에 연구에 어려움을 겪기도 한다. 한편, 현재 각 대학에서 운용하고 있는 40cm급 이하의 소형망원경들은 대부분이 저가형으로 대량생산된 망원경으로써 정밀하지 못한 구동부와 광학부의 불안정성 등으로 인하여 연구용으로 개발된 망원경에 비해 상대적으로 낮은 연구 성과를 내고 있다. 특히 교내에 위치한 관측소들은 인근 도시의 공해 및 광해의 영향으로 효율적인 관측이 어렵고, 관측인력 및 운영예산 확보에 있어 어려움을 겪고 있는 실정이다. 그러나 충북대학교에서는 소형망원경이 가진 여러 단점에도 불구하고 Meade사의 40cm 망원경의 성능개선을 통하여 원격관측 시스템을 구축 하였으며(이충욱 1996), 2003년에는 35cm 망원경을 이용하여 식쌍성의 극심시각 관측을 위한 자동관측 시스템을 구축하여 꾸준히 관측을 수행해 오고 있다(이충욱 등 2003).

우리는 장주기의 밝은 변광성 관측을 위하여 Meade사의 40cm 망원경의 구동부와 광학계를 개선하고, 돔 자동화와 기상센서부의 설치 및 제어 프로그램의 개발을 통하여 자동시스템을 구축하였다. 현재 남아공과 호주에 설치되어 운영 중인 로보틱 천문대가 완전 로보틱 시스템을 기반으로 하여 관측자의 개입 없이 관측이 이루어지는 시스템(Byun et al. 2002)인 것에 반해 교내 천문대 지역의 국부적 기상특성을 고려하여 관측이 이루어지는 동안 관측자가 기상상태의 변화에 따라 관측을 진행하여 장비 보호 및 관측의 효율성을 높일 수 있도록 설계하였다. 이 논문에서는 장주기의 밝은 변광성 관측을 위해 제작된 시스템의 구성 및 제어에 대해 설명한 후 시험 관측을 통해 얻은 결과를 제시하면서 향후 이 논문에서 개발한 시스템의 국내 소재 소형망원경들에 활용 가능성 등을 토의 하였다.

2. 시스템의 구성

일반적으로 소형 망원경의 구동부는 비윤절감을 목적으로 단일접촉방식의(single enveloped) 웜과 웜 기어가 사용되어지고 있다. 단일접촉방식의 구동부를 사용하는 망원경은 웜의 빗면과 웜기어의 피치를 밀거나 당겨서 동력이 전달될 때 동력을 전달하는 접점이 한곳에 의하여 일어나게 된다. 한편 이 접점이 어긋나거나 웜의 샤프트가 휘어짐 또는 웜과 웜기어의 낮은 가공정밀도 등으로 인하여 웜이 회전함에 따라 반복적인 형태의 계통오차(systematic error)가 발생하게 되는데, 이런 오차를 주기오차(periodic error)라고 한다. 또한 구동부 설계 시 회전이 용이하도록 웜과 웜기어 사이에 약

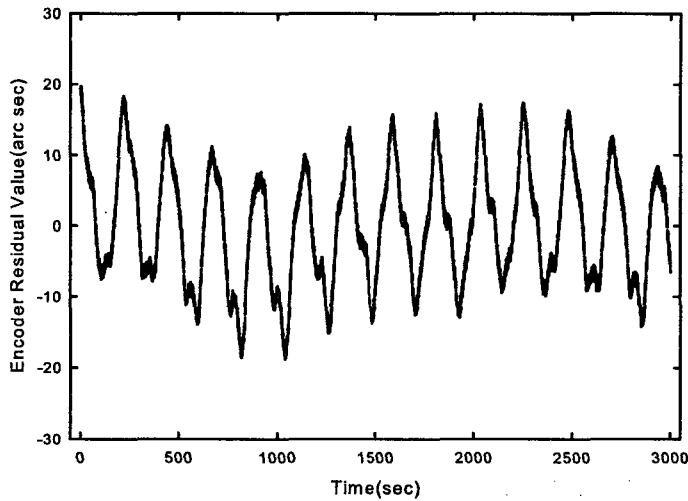


그림 1. LX 200 마운트의 추적잔차. 가로축은 추적 속도를 측정된 시간을 초 단위로, 세로축은 추적 속도에서 벗어나는 크기를 초각으로 나타내었다. 추적 속도 잔차에서 여러 개로 이루어진 사인 형태의 주기오차가 나타나고 있다.

간의 틈을 두어 제작하는데, 회전 방향에 따라 틈의 유격으로 인한 백래쉬(backlash)가 발생하며, 백래쉬 또한 계통오차를 유발시킨다. 우리가 개선시킨 Meade사의 LX200 마운트는 엔코더를 사용하지 않고 저가형 서보모터를 사용한 개방형(open loop) 시스템으로 기어마모로 인한 큰 백래쉬 때문에 지향정밀도가 낮고 주기오차를 포함하고 있어 별을 지향하고 추적하는데 어려움이 있다(정장해 등 2000).

계통오차를 보정하기 위하여 Meade사의 LX200 마운트는 SMART DRIVE 장치를 장착하고 있는데, 이 장치는 워미 1회전 할 때의 모터 속도를 200등분하고 워미 1회전하면서 나타나는 주기적 오차를 보정하기 위하여 각 위치에서의 모터 속도를 가감한다. 이 방법을 사용하면 워미의 1회전에 의해 발생하는 주기적 오차를 보정할 수 있으나 다른 요인에 의한 보정은 이루어지지 않게 된다. 우리는 이점을 보완하기 위하여 엔코더를 장착한 폐쇄형(closed loop) 구동부를 새롭게 구성하여 주기오차와 백래쉬에 의한 효과를 최소화 시켰다. 우리가 구축한 폐쇄형 구동부는 높은 토크를 낼 수 있도록 1/3 감속기와 결합한 모터와 적경축에 장착한 엔코더로 구성된다. 모터로 제어할 수 있는 망원경의 최소 제어각은 약 0.024초각이고, 엔코더로 읽어 낼 수 있는 최소 분해각은 약 0.823초각이다. 이들은 망원경의 안정적인 추적을 위하여 많이 사용하고 있는 능동추적(active tracking)을 적용하기에 충분한 값들이다(윤요나 등 2004). 능동추적은 엔코더에서 읽어 들인 값을 기준으로 모터의 속도를 실시간으로 조정하는 방법으로 모터의 속도조정은 엔코더에서 읽어 들인 값과 망원경을 보내고자 하는 값의 차이를 펄스로 환산하여 모터에 전달하여 이루어진다.

그림 1은 능동추적을 적용하기 전에 얻은 엔코더 값을 나타낸 그림으로 망원경의 추적시 최대 50초각에 해당하는 변위를 보이고 있다. Meade사의 LX200 마운트는 워미기어의 잇수가 360개로 워미 1회전할 때 1도각이 이동하고, 이때 4분이 소요된다. 그림에서 보면 약 4분 간격으로 사인 형태의 주

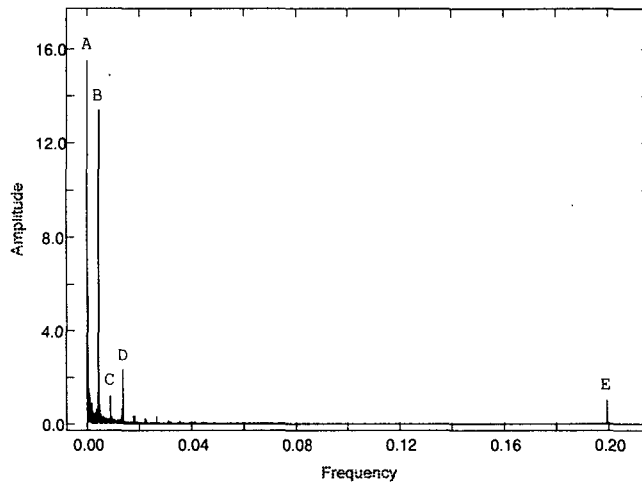


그림 2. 푸리에 분석을 통하여 얻은 파워스펙트럼. 가로축은 망원경의 추적 오차에 해당하는 주파수(Hz)를, 세로축은 추적 오차의 크기로 단위는 초각이다.

기오차와 함께 다른 요인에 의한 오차가 포함되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 같은 요인으로는 적경축의 웜, 웜기어의 정렬 및 기어의 마모 상태, 적경 축의 웜, 망원경의 무게 중심의 틀어짐 등이 있을 수 있으며, 우리는 그 요인을 파악하기 위하여 푸리에 분석을 통하여 그림 2와 같은 파워 스펙트럼을 얻었다. 파워 스펙트럼의 분석을 통하여 크게 5가지의 주기를 얻고, 주기에 근거하여 오차의 요인을 추정하였다. 그림 2에서 A로 나타낸 성분은 16850초 주기로 약 15초각의 오차를 유발하고 있다. 이는 적경축의 웜에 의해서 나타나는 편심오차의 현상이다. B는 주기가 226초에 해당하고 13.3 초각의 오차를 유발하는데 이는 웜의 1회전할 때 웜기어와의 접촉에 의하여 생긴 오차로 나타나는 현상이다. C는 113 초의 주기를 가지고 1초각 정도의 오차를 가지고 있는데, 이는 웜이 1/2 회전할 때의 주기에 해당하고 웜 회전축의 편심에서 나타나는 현상이다. D는 73초의 주기로 2초각의 오차를 유발시키는데, 이 주기는 모터가 1회전할 때의 주기와 일치하고 있어 모터의 회전으로 발생된 오차로 나타나는 현상이다. 마지막으로 E로 나타낸 5초 주기의 약 1초에 해당하는 오차는 엔코더의 분해능과 일치하고 있어 엔코더를 읽어 들일 때 발생한 반올림 오차로 나타나는 현상이다.

이러한 오차들은 시야각이 좁은 CCD를 이용하여 관측을 수행할 때 관측 영역에서 천체를 벗어나게 만들기도 하며, 장시간 노출이 필요한 어두운 천체의 관측 시 별의 형상을 길쭉하게 늘어뜨려 측광을 어렵게 만든다. 우리는 이러한 오차의 보정을 위하여 기존의 시스템에 능동추적을 적용하여 엔코더의 분해능 안에서 보정이 이루어지도록 하고, 이때 구한 추적잔차를 그림 3에 나타내었다. 그림 4는 능동추적이 이루어 질 때 300초 노출을 주어 얻은 별의 등고선 그림으로 별의 형태가 원형을 이루고 있어 300초 노출동안 추적이 잘되고 있음을 보여주고 있다. 한편, 새로 구축한 시스템의 지향 정밀도는 적경, 적위 방향에 대하여 각각 ± 1.4 분각, ± 2.7 분각의 표준편차를 가지며, CCD의 크기를 고려할 경우 이 값은 약 1/10과 1/5에 해당하는 값으로 추후 연구가 필요한 실정이다.

망원경의 제어와 더불어 돔의 제어는 자동관측 시스템에서 중요한 부분 중의 하나이다. 우리는

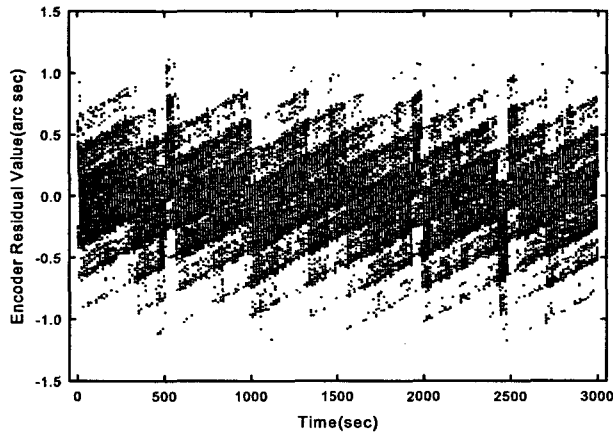


그림 3. 능동추적을 적용했을 때의 추적잔차. 가로축은 망원경의 추적 실험 시간을 초단위로, 세로축은 추적 오차의 잔차 값을 초각 단위로 나타낸다. 전체 추적오차가 50분 동안의 실험에서 ± 1 초각으로 매우 안정된 추적 성능을 보이고 있다.

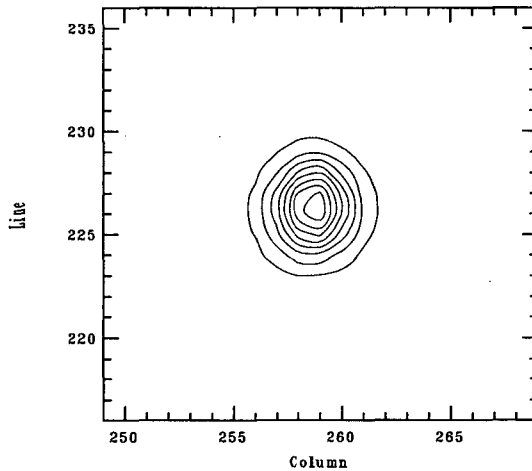


그림 4. 300초 노출로 얻은 별의 등고선 그림(contour map).

망원경의 위치에 따라 돔이 자동으로 추적할 수 있는 시스템을 구성하였는데, 돔의 위치는 돔 회전 모터에 엔코더를 부착하여 돔의 위치를 읽어내도록 하였고, 이를 망원경의 위치와 비교하여 돔과 망원경의 위치를 일치 시켰다. 한편, 돔 내부와 외부에 장착한 기상센서는 기상악화로 인한 장비보호를 위해서 돔을 닫을 수 있도록 구성하였으나, 관측소의 습도가 특정시간에 이르면 95% 이상 올라가는 국부적 특징을 보이고 있어, 관측자가 그때의 기상 상태를 확인하고 관측을 진행할 수 있도록 수정하여 관측시간 활용의 효율성을 높였다. 또한, 돔 내부에 설치한 웹 카메라를 이용하여 관측자는 돔 내부의 망원경 작동상태를 확인할 수 있다.

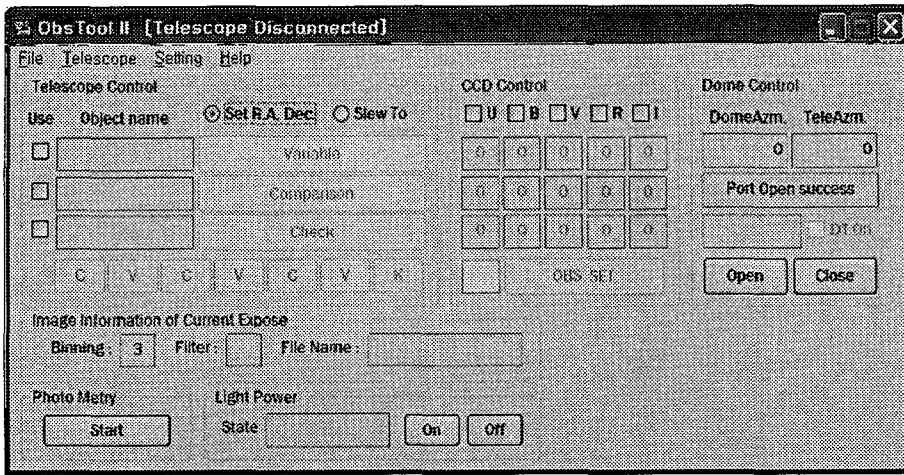


그림 5. ObsTool II의 실행 화면. 왼쪽 부분은 관측 방법 결정하는 부분이며, 중앙 부분은 사용할 필터, 노출시간, 순환 횟수 및 실제 관측 시작을 하는 부분이며, 오른쪽은 현재 돔의 위치와 상태를 나타내는 부분과 돔을 열고 닫는 부분으로 구성되어 있고, 아랫 부분은 관측 진행 상태 및 진행 중인 관측의 광도 곡선 형태와 돔 내부의 전등을 제어할 수 있는 부분으로 구성되어 있다.

서론에서 언급한 바와 같이 우리가 구성한 자동관측시스템은 비교적 밝고 오랜 관측시간을 요하는 변광성들을 위한 것으로 CCD의 시야에 변광성과 비교성을 함께 관측하기 어려울 때가 많다. 따라서, 우리는 광전측광관측을 할 때처럼 변광성과 비교성 및 겹도성 사이를 오가며 관측을 수행할 수 있도록 관측프로그램을 개발 하였다(그림 5). 이 관측프로그램은 각각의 관측대상에서 사용할 필터의 종류와 노출시간 등의 설정과 더불어 관측 순환 순서를 설정할 수 있도록 하였다. 특별한 설정이 없을 때의 순환 순서는 초기값으로 “비교성→변광성→비교성→변광성→비교성→변광성→겹도성”의 순으로 설정된다. 또한, 수동으로 돔을 열고 닫을 수 있는 돔제어 부분을 두어 관측자가 기상상태의 변화에 빠르게 대처하여 돔을 개폐할 수 있도록 구성하였다.

우리가 구성한 자동관측시스템은 상용망원경과 상용 CCD 카메라를 사용하고 있다. 하지만 망원경이나 CCD 카메라가 고장 날 경우 다른 모델로 교체 될 수도 있기 때문에 특정 모델에 맞추어 관측 프로그램을 개발하면 장비의 교체 시 마다 관측 프로그램을 다시 개발해야 하는 어려움이 있다. 따라서, 번거로운 작업을 덜기 위한 목적으로 망원경, CCD 카메라, 돔 등을 제어하는 각각의 제어프로그램을 그림 6과 같이 COM(Common Object Module)으로 관측프로그램과 연결함으로써 장비가 교체될 때마다 관측프로그램을 수정하지 않아도 된다. 망원경의 제어는 우리가 새롭게 개발한 모션 컨트롤 라이브러리와 함께 The SKY 프로그램(Software Bisque, Inc.)을 사용하였고, CCD 카메라의 제어는 Maxim DL 프로그램(Diffraction Limited co.)을 사용하였다. The SKY와 Maxim DL은 돔 제어를 위하여 개발한 프로그램과 더불어 모두 COM을 지원하는 제어프로그램으로써, ObsTool II 관측프로그램으로 망원경, CCD 및 돔 등의 제어를 가능하게 해준다. 또한, 우리가 구성한 자동관측시스템은 현재 다른 대학에서 운영하고 있는 관측시스템에도 적용할 수 있어, 비슷한 관측형태를 갖는 변광성 관측시스템 구축에 사용할 수 있다.

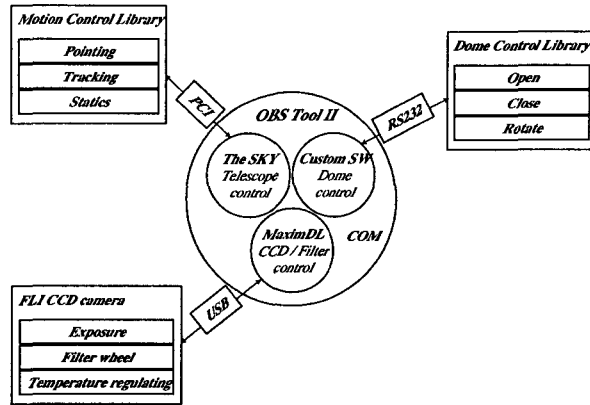


그림 6. ObsTool II와 각 모듈간의 구성도. 왼쪽 상단에 망원경을 제어하는 함수군, 왼쪽 하단에 CCD를 제어하는 함수군, 오른쪽 상단에는 돔을 제어할 수 있는 함수군으로 구성되어 있으며, 모든 함수군은 OBS Tool II 프로그램 내에서 서로 연동되어 구동 된다.

3. 시험 관측

자동관측시스템의 안정성을 확인하기 위하여 V523 Cas와 TT Ari를 시험 관측하였다. V523 Cas는 짧은 궤도주기를 가지고 있기 때문에 하룻밤 관측을 통하여 완전한 광도곡선의 획득이 가능하고 이의 분석을 선행 연구자들의 결과와 비교함으로써 관측시스템의 안정성을 확인하기 쉬운 장점을 가지고 있다. 또한, 이 별은 현재 주기 변화를 겪고 있기 때문에 우리가 관측을 통해 새롭게 결정된 극심시각은 향후 주기변화 연구에 도움을 줄 수 있으리라 기대 한다. 한편, 2005년 10월 25일부터 약 100여일간 관측이 진행 중인 TT Ari의 광도곡선은 우리가 구축한 관측시스템이 단주기와 장주기의 복합적인 변광현상을 가지고 있는 천체의 장기관측에 적합함을 보여준다.

Weber(1957)에 의하여 변광이 처음 알려진 만기 W형 접촉쌍성 V523 Cas는 약 0.23일 정도의 궤도주기를 갖는 천체로써, 약 0.21일 정도의 주기를 갖는 CC Com과 함께 빠른 궤도 주기를 갖고 있는 식쌍성계 중의 하나로 알려져 있다. 이 별은 빠른 궤도주기의 특징을 보일 뿐 아니라, O'Connell 효과에 의하여 광도변화를 보이고 있고(Zhukov 1985, Samec & Bookmyer 1987, Samec et al. 1989, Elias & Koch 2000, Zhang & Zhang 2004), 주기 변화에 대한 연구가 꾸준히 이루어 졌다(Hoffmann 1981, Samec & Bookmyer 1987, Lister et al. 2000, Elias & Koch 2000, Samec et al. 2001, Zhang & Zhang 2004). 우리는 2005년 11월 15일 저녁에 총 356개(B: 112, V: 123, R: 121, <http://hanul.kasi.re.kr/~antalece/V523-cas.txt>)의 관측 점을 얻었으며, 차등측광을 위해 사용한 비교성은 GSC 3257:1326(RA = 00^h40^m24^s.30, DEC = +50^d20^m20^s.6)이고, 검토성으로 GSC 3257:1068(RA = 00^h40^m24^s.27, DEC = +50^d17^m52^s.8)을 사용하였다. 관측 자료로부터 Kwee & van Woerden(1956)의 방법을 이용하여 3개의 극심 시각을 결정하고(표 1. 참조), 2003년도 WD 바이너리 코드(Wilson & Devinney 1971)의 mode 3을 이용하여 V523 Cas의 측광해를 구하였다(박영식 2006). 그림 7은 관측 자료와 이론적인 곡선을 나타낸다.

표 1. 새롭게 결정한 극심 시각.

극심시각(HJD)	필터	형태
2453689.98774 (36)	B V R	부극심
2453690.10522 (49)	B V R	주극심
2453690.22138 (25)	B V R	부극심

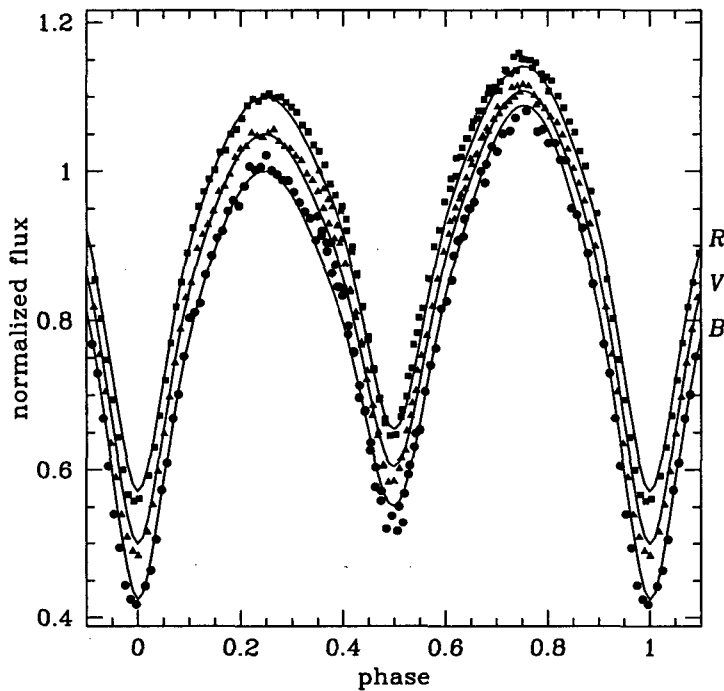


그림 7. V523 Cas의 광도곡선과 이론적인 곡선.

1997년에서 2004년까지 지속되어온 TT Ari의 positive superhump 상태가 2005년 10월에 바뀌어(Yoon et al. 2006), 이별의 변광특성을 연구하고자 자동관측시스템을 이용하여 약 100일 이상 관측해 오고 있다. TT Ari는 약 10년 정도의 장주기를 갖는 광도변화와 함께 수분에 이르는 단주기 광도변화를 가지고 있는 시스템으로써, 보다 정확한 시스템의 특성을 연구하기 위해서는 장기관측을 통한 자료의 획득이 필수적이다. 약 100일간 관측을 수행한 결과 그림 8과 같은 광도곡선을 얻고, 광도곡선상에서 장주기 및 단주기 광도변화를 명확히 확인할 수 있을 정도로 관측시스템이 안정적인 확인 할 수 있었다. 또한 그림 8에 제시된 TT Ari의 광도곡선은 현재 분출의 원인 규명과 분출 후 변광의 양상을 분석하는 연구가 진행되어 곧 결과가 발표될 예정이다(Andronov 2006). 우리는 두 가지 시험관측을 통하여 본 논문에서 구축한 자동관측시스템이 변광성 관측에 유용한 시스템임을 확인하였고, 향후 본 관측시스템을 국내의 소형망원경을 보유한 천문대에 응용하여 관측 네트워크를 구성하는데 적극 활용할 계획이다.

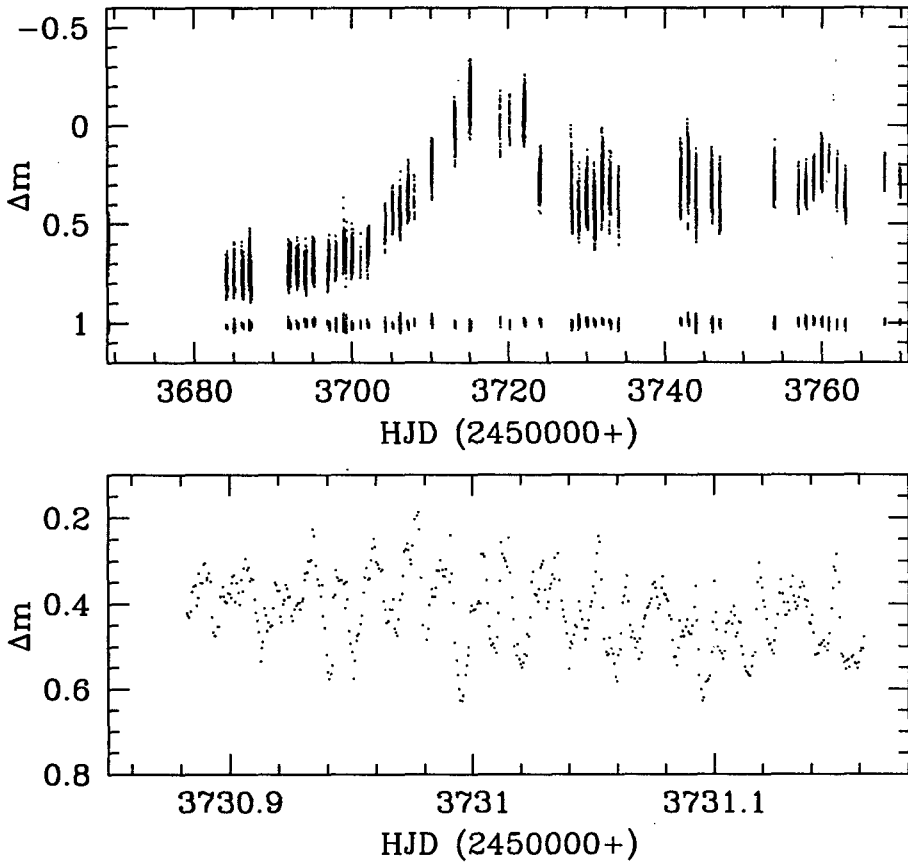


그림 8. TT Ari의 광도곡선. (위) 약 100일간 관측한 TT Ari의 광도곡선을 나타낸다. (아래) 하루 동안의 관측에서 약 10분에서 35분 정도의 주기성이 보인다.

4. 결론 및 토의

우리는 이 논문을 통하여 크게 3가지의 결론을 얻었다. 첫째, 충북대학교에 있는 Meade LX200 마운트의 구동부를 개선하여 비교적 밝은 장주기 변광성 연구를 위한 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 능동추적을 적용하여 추적오차가 1초각 이내이며, 300초 노출을 통하여 별의 형상이 흐름없이 안정적으로 관측할 수 있음을 확인하였다. 한편, 지향 정밀도는 적경과 적위축에 대하여 각각 ± 1.4 분각, ± 2.7 분각으로 CCD 시야에 대하여 1/10, 1/5에 해당하는 값으로 추후 이에 대한 개선이 요구되어 진다. 둘째, 망원경과 CCD 카메라 및 돛을 제어하는데 있어 COM을 이용하여 모듈화 시키고 이들을 제어할 수 있는 관측프로그램 ObsTool II를 개발하였다. 이 관측프로그램은 상용망원경과 상용 CCD 카메라로 관측시스템을 구성할 때 장비 교체에 따른 관측 프로그램을 고쳐야 했던 불편함을 해소하고, CCD의 시야에 변광성과 비교성이 한꺼번에 들어오지 않더라도 두 별 사이를 오가며 관측을 수행할 수 있도록 해준다. 셋째, 자동관측시스템의 안정성을 검토하기 위하여 W형 접촉쌍성 V523

Cas를 관측하여 3개를 극심시각을 획득하고, 약 100일 동안 관측한 자기 격변 변광성 TT Ari의 광도곡선을 통하여 관측 데이터의 안정성을 확인하였다. 이 연구는 기존의 저가형 소형망원경이 가지고 있는 구동부의 취약성과 잦은 장비교체로 인하여 안정된 관측시스템의 구축이 어려웠던 문제를 해결할 수 있다는 가능성을 보여주고 있으며, 시험관측을 통하여 소형의 상용망원경과 CCD 카메라로 우리가 구성한 자동관측시스템의 안정성을 확인하였다. 이 연구에서 사용한 방법들은 소형 망원경의 사용 효율을 극대화 할 수 있을 것이며, 또한 상대적으로 밝고 장주기의 변광성에 대한 양질의 관측 데이터를 확보 할 수 있으리라 기대한다. 이 논문에서 구축한 자동 관측시스템은 현재 진행 중인 충북대학교 천문대의 1m 망원경 관측시스템에 적용할 예정이다. 또한, 우리가 구축한 자동 관측시스템은 원격제어가 가능하기 때문에 국내 중 고등학교 교실에서 망원경에 원격 접속하여 관측할 기회를 제공함으로써, 국내 중 고등학교의 천문관측 교육효과 증대는 물론, 일반인들에게도 원격 관측 기회를 제공할 수 있을것으로 생각한다.

감사의 글: 이 연구의 진행동안 많은 도움을 주신 ADD TEK의 정봉호 사장님께 감사 드립니다. 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(과제번호: KRF-2003-070-C00025).

참고문헌

박영식 2006, in preparation

윤요나, 이충욱, 차상목, 김용기 2004, 한국우주과학회지, 21, 121

이충욱 1996, 석사학위논문, 충북대학교

이충욱, 박성수, 김천휘, 변용익 2003, 한국우주과학회지, 20, 143

정장해, 이용삼, 이충욱 2000, 한국우주과학회지, 17, 45

Andronov, I. L. 2006, in preparation

Byun, Y.-I., Han, W.-Y., Kang, Y.-W., Moon, H.-K., Yim, H.-S., Park, S., Yu, S.-Y., Bae, Y.-H., Lee, S.-H., & Chun, M.-S. 2002, *Near-Earth Objects and Wide-Field Astronomy: Now and the Future*, 국가지정연구실 워크샵, 63

Elias, N. M. & Koch, R. H. 2000, *AJ*, 120, 1548

Hoffmann, M. 1981, *IBVS*, 1976, 1

Kwee, K. K. & van Woerden, H. 1956, *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 12, 327

Lister, T. A., McDermid, R. M., & Hilditch, R. W. 2000, *MNRAS*, 317, 111

Samec, R. G., Banks, D. F., Hernandez, R., Faulkner, D. R., & Williams, D. B. 2001, *IBVS*, 5175, 1

Samec, R. G. & Bookmyer, B. B. 1987, *PASP*, 99, 1310

Samec, R. G., van Hamme, W., & Bookmyer, B. B. 1989, *AJ*, 98, 2287

Weber, R. 1957, *Bull. Soc. Astron. Fr.*, 71, 36

Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605

Yoon, J. N., Andronov, I. L., & Cha, S. M. 2006, *Astron. Telegram*, 718, 1

Zhang, X. B. & Zhang, R. X. 2004, *MNRAS*, 347, 307

Zhukov, G. V. 1985, *Sov. Astron. Lett.*, 11, 42