

인터넷 활용 천체관측 교육을 위한 36 cm 망원경의 자동화 시스템 개발

김희수^{1,*} · 양종우² · 김 혁³ · 한인우⁴ · 강남화⁵

¹공주대학교 지구과학교육과, 314-701 충남 공주시 신관동 182

²인천진산고등학교, 403-090 인천광역시 부평구 삼산동 456-6

³경기과학고등학교, 440-210 경기도 수원시 장안구 송죽동 산 28-1

⁴한국천문연구원, 305-348 대전광역시 유성구 화암동 61-1

⁵오레곤주립대학교, 251 Weniger Hall Corvallis, Oregon 97331-6508, USA

Development of an Automatic System of 36 cm Telescope for the Web-based Teaching in Astronomical Observation

Hee-Soo Kim^{1,*}, Jong-Woo Yang², Hyouk Kim³, In-Woo Han⁴, and Nam-Hwa Kang⁵

¹Department of Earth Science Education, College of Education, Kongju National University,
Kongju 314-701, Korea

²Inchun Jinsan High School, Incheon 403-090, Korea

³Kyonggi Science High School, Suwon 440-210, Korea

⁴Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

⁵Oregon State University, Oregon 97331-6508, USA

Abstract: An automatic system of 36 cm telescope for the Web Based astronomy education was developed. The tracking accuracy of this system was about 1"/min. The pointing accuracy was $\pm 10''$ in the right ascension direction, $\pm 20''$ in the declination direction. These results will be improved continuously. The results of IRAF image analysis for the pilot observation data were stable, which means that this remote astronomical observation system is suitable for the education of astronomical observation.

Keywords: automatic telescope, remote observation, astronomy education

요약: 인터넷상에서 관측할 수 있는 36 cm 자동화 망원경이 개발되었다. 이 시스템의 추적 오차는 약 1"/분이고, 지향 정밀도는 적경 방향에서 약 $\pm 10''$, 적위 방향에서 약 $\pm 20''$ 였다. 이것은 계속 개선되어나갈 것이다. 예비관측을 통해 얻은 영상자료를 IRAF를 통해 분석해본 결과 비교적 안정적인 결과를 보여주었다. 이러한 결과는 원격천체관측 교육에 활용할 수 있음을 의미한다.

주요어: 자동화 망원경, 원격관측, 천문 교육

서론

최근의 인터넷 환경은 천체관측 분야에도 큰 영향을 주고 있다. 즉 인터넷을 통해 원격지의 망원경을 제어하면서 관측하여 많은 천체관측 결과를 얻을 수

있게 되었다(한인우와 남옥원, 1998; 김혁, 1999; 김희수 외, 2003). 인터넷 보급률이 앞선 우리나라의 입장에서 보면 인터넷을 이용한 원격관측 시스템은 천문학 교육 및 연구 분야에 매우 긍정적인 영향을 줄 것으로 판단된다. 이런 점에서 현재 보유하고 있는 성능이 좋은 망원경들을 자동화하여 원격천체관측이 가능하도록 공개하면 망원경이 없는 학교나 가정에서도 양질의 관측 결과를 얻을 수 있을 것이다. 다시 말하여 교육용으로 활용 가능한 우리나라 과학

*Corresponding author: heesoo54@kongju.ac.kr

Tel: 82-041-850-8291

Fax: 82-041-850-8299

고등학교나 대학 등에 보유한 중소형 망원경을 자동화하여 인터넷으로 제공한다면 교실이나 가정 등 어디서나 누구에든지 인터넷을 통해 실시간 천체 관측이 가능하게 된다. 또 이러한 원격관측 탐구활동을 통해 학습자들에게 과학에 대한 흥미유발을 제공할 수 있어 최근의 이공계 기피현상을 다소나마 줄일 수도 있을 것이다. 원격 관측은 관측자가 일부러 원격지에 있는 천체관측소를 방문하지 않아도 천체 관측을 손쉽게 할 수 있기 때문에 시간 및 경비를 절약할 수도 있다.

원격관측의 예로, 우리나라의 경우 한국천문연구원에서 미국의 아리조나주 레몬산에 1 m급 반사망원경(<http://lemmon.kasi.re.kr/>)을 설치하여 산개성단과 변광성 연구 등을 원격관측해오고 있다. 미국의 경우에는 아이오와대학 물리·천문학과에서는 the Iowa Robotic Telescope와 the Rigel Telescope라는 이름으로 교육과 연구에 활용해 오고 있으며 일반인들도 관측을 허용하고 있다(<http://phobos.physics.uiowa.edu/>). 또 하버드대학에서 운영하고 있는 하버드 자동화 망원경(<http://cfa-www.harvard.edu/~gbakos/HAT/intro.html#mount>)은 연구 중심으로 활용하고 있으며, Tennessee State University의 Fairborn Observatory에서는 TSU 자동화망원경이라는 이름으로 9대의 자동화 망원경을 설치하여 인터넷상에서 교육과 연구에 활용할 수 있도록 제공하고 있다(<http://schwab.tsuniv.edu/apt.html>). 호주의 경우, New South Wales 대학에서 운영하는 Siding Spring Observatory에서는 0.5 m급의 자동화 망원경을 B, V, R, 그리고 I 필터 등을 이용하여 다양한 관측을 연구중심으로 수행해오고 있다(<http://www.phys.unsw.edu.au/~mcba/apt.html>). 이처럼 미국, 러시아, 프랑스, 일본, 스페인, 칠레, 호주, 이탈리아 등 여러 나라에서도 다양한 크기의 다양한 자동화망원경을 구축하여 교육과 연구에 활용해오고 있다(<http://www.astro.physik.uni-goettingen.de/~hessman/MONET/links.html>).

본 연구에서는 위와 같은 국내외의 유명 천문대들처럼 36 cm 망원경을 인터넷상에서 천체관측 교육용으로 활용할 수 있는 원격 자동화 시스템을 개발하고자 한다.

자동화 망원경의 개발

자동화 망원경 시스템은 크게 광학부, 기계부, 전자부, 프로그램부 등으로 구성된다. 각각의 개발 과



Fig. 1. 36 cm MEADE telescope.

정에서 필요한 제어이론(Trueblood and Genet, 1985; 조영우, 1997; 김진수, 1998), 망원경 지향 오차, 마운트 모델링과 관련된 역학적 오차의 보정 등의 이론적 배경은 김희수 외(2003)의 것을 활용한다.

본 연구에서 활용할 망원경은 구경 36 cm(초점거리: 3556 mm, 초점비: f/10)로 그 구경에 비해 경통의 길이가 짧아 돔 내에서 회전반경을 줄일 수 있는 슈미트 카세그레인식 망원경이다(Fig. 1).

이에 본 망원경을 자동화하여 인터넷상에서 활용할 수 있도록 하기 위해 다음과 같은 기계부, 전자부 그리고 프로그램부의 내용들을 개발하였다.

기계부

망원경의 기계부란 망원경의 광학부를 지지하고 있는 구조물 전체를 일컫는다. 여기서는 경통을 받쳐주는 가대, 망원경이 갖고 있는 2개의 회전축을 돌리기 위한 동력원과 그 동력원으로부터 축까지 동력을 전달해주는 동력 전달 장치 그리고 홈 및 리미트 스위치를 의미한다. Fig. 2는 광학부를 지지하고 있는 기계부의 전체적인 설계도 모습이다.

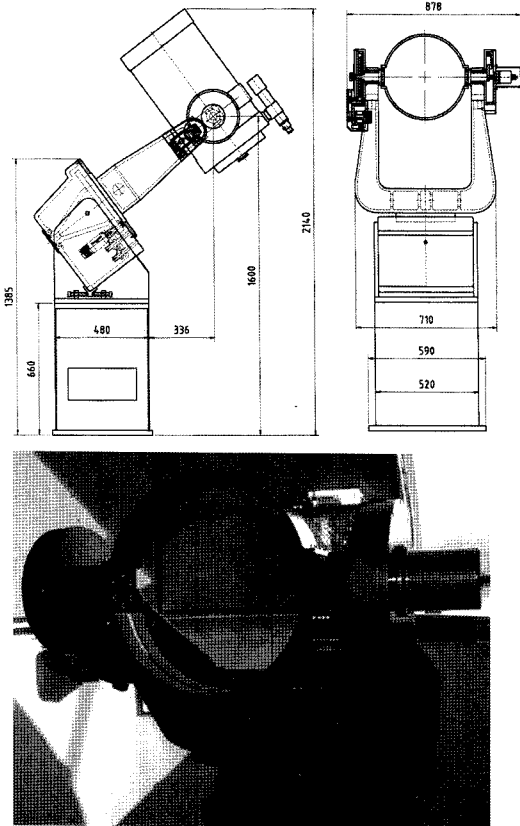


Fig. 2. upper: design of fork type mount. lower: completed fork type mount.

가대: 가대는 망원경의 경통을 받쳐주는 지지대로서 Fig. 2의 모습과 같이 36 cm 망원경의 크기와 자동화에 유리한 포크식(fork type) 적도의로 설계·개발하여 활용하였다.

이러한 적도의를 개발하여 처음 극축을 맞출 때는 포크의 방향을 먼저 진북 방향에 맞추고 나서 포크의 고도를 그 지방의 위도로 맞추어 대략적인 극축을 맞추었다. 그리고 나서 극축 받침대의 방향을 미세하게 조정해가면서 보다 정밀한 극축맞추기를 수행했다.

적경축 및 적위축 동력 전달: 본 연구에서 동력전달장치는 디스크 방식을 채택하였다. 따라서 백래쉬(backlash) 문제는 없으며, 체계적인 오차 중 주기오차는 세차, 대기굴절, 연주광행차, 장동 요소 등을 프로그램상에서 보정하였다. 그리고 역학적인 오차는 마운트모델링(mount modeling)을 통하여 최소화되도록 하였다.

이때 적경축 및 적위축에 동력을 전달하기 위해 활용한 스텝모터(steping motor)는 복합형으로 일본 Tamagawa사의 하이브리드 PM형 23 Hi Torque 스텝모터를 장착하였다. Fig. 3은 본 연구에서 활용한 모터의 외양 및 외양에 대한 수치이며 단위는 밀리미터이다. 그리고 Table 1은 이 모터(motor)에 대한 기본 사양이다.

또 Fig. 4 이 스텝모터의 특성을 보여주는 속도-토크(torque) 그래프이다. DC 24V에서 저속에서는 큰 토크를 나타내는 반면 고속에서는 토크가 크게 떨어지는 것을 알 수 있다.

개발된 포크식 적도의에 연결한 적경 및 적위 구동부의 설계도는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같으며, 이를 토대로 적경 및 적위 스텝 모터를 연결하였다.

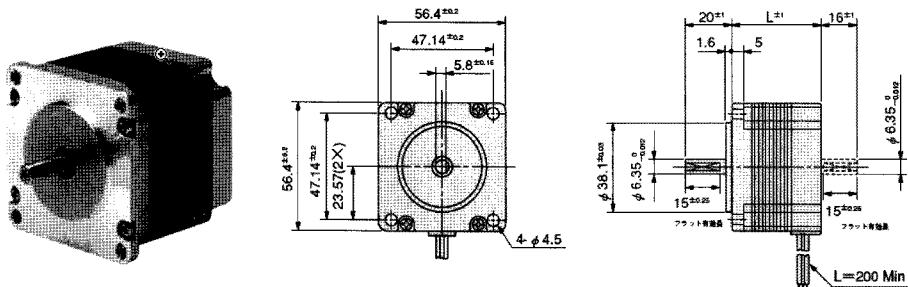


Fig. 3. Stepping Motor Appearance and the Dimension.

Table 1. Specification of Stepping Motor 23 Hi Torque

스텝각 Deg.	형식	정격 전압 V/Phase	정격 전류 A/Phase	홀딩 토크 N · m (gf · cm)	본체 사이즈 mm
1.8	TS3653N2E6,N12E6	2.3	3.0	0.9(9000)	56.4 × 54

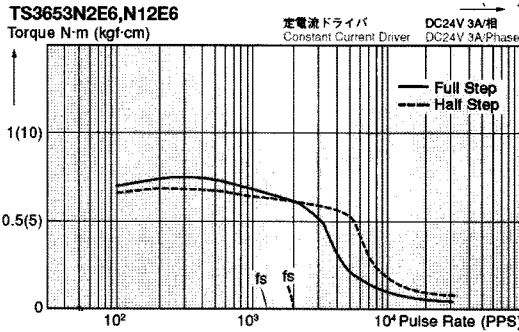


Fig. 4. Pulse rate-Torque relation of the stepping Motor.

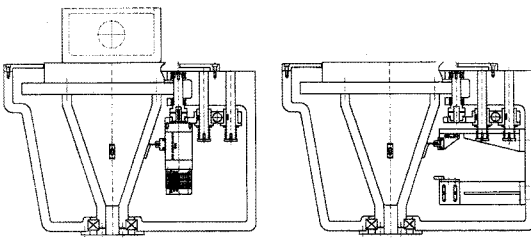


Fig. 5. Design of RA driving part.

적경축의 동력전달 과정은 스텝모터에서 나온 동력이 망원경에 보다 부드럽게 전달되기 위해 디스크형(disk type) 감속장치를 연결하였다.

동력이 400φ 디스크와 20φ 롤러(roller)를 거치며 20:1로 감속되게 하였고 또한 롤러 뒤쪽의 100:1 감속기를 거쳐 전체적인 감속비를 2000:1가 되게

하였다. 적위축은 스텝모터의 동력이 230φ의 디스크와 15φ의 롤러를 통해 15.33:1의 비로 감속되고 5:1의 타이밍 벨트(timing belt)와 풀리(pulley)로 총 1380:1의 감속비를 얻어냈다. 결국 디스크가 1회전 하는데 적경축 스텝모터는 2000바퀴, 적위축 스텝모터는 1380바퀴를 회전하도록 구성하였다.

마이크로스텝(microstep) 구동은 스텝 수의 분할 정도에 따라 회전각이 달라지는데, 본 시스템에서는 모터 축 한 회전 당 50,000개의 스텝을 사용하여 펄스(pulse) 하나가 입력되었을 때 0.0072°(25.92")의 회전이 이루어지도록 하였다. 이처럼 마이크로스텝으로 구동하면 기어 감속비를 크게 하지 않고도 작은 회전각을 얻을 수 있으며, 조동의 회전 속도도 얻을 수 있는데, 회전도 부드럽게 이루어지게 된다.

본 연구에서 활용한 마이크로스텝 드라이버(microstep driver)는 국내 중소기업인 PAIX에서 개발한 PMD-424UA로써 2상 스텝모터의 기본 스텝 각(1.8°/step)을 1/250까지 분할하여 기구적 감속 없이 미세이동이 가능하도록 한 제품이다. Table 2는 PAIX에서 제공한 마이크로스텝 드라이버의 사양이고 Fig. 7은 모터와의 결선도이다.

마이크로 스텝드라이버의 분해능(resolving power)과 전체적인 기어 감속, 인코더(encoder) 분해능 등이 결부되어 시스템 고유의 여러 가지 상수 값들이 결정되는데 이를 정리하면 Table 3과 같다.

디스크와 인코더 샤프트(encoder shaft)의 편심오차

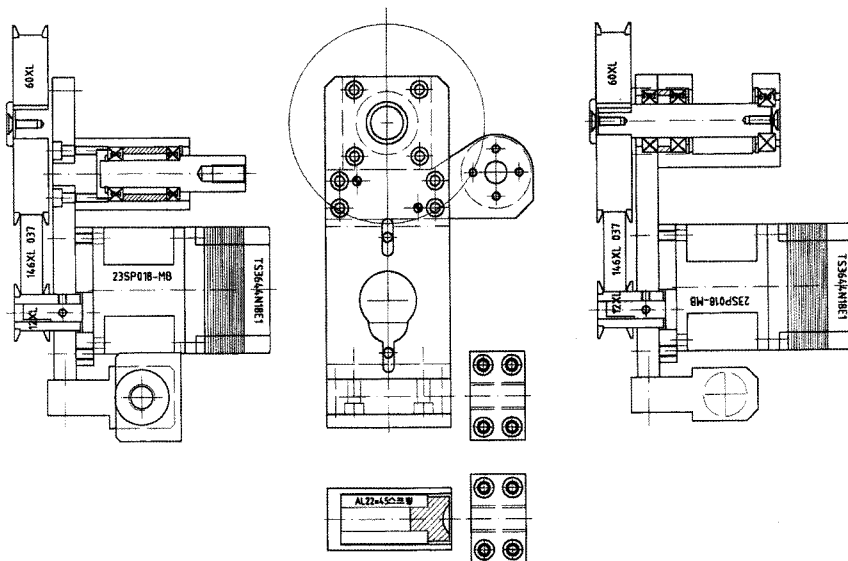


Fig. 6. Design of DEC driving part.

Table 2. Specification of PMD-424UA

	PMD-422UD	PMD-424UA
입력전압	DC 24 V~36 V	AC 100 V~240 V
최대입력 주파수	Open collector Line driver	400 KHz 1.5 MHz
Fuse용량		4A
모터구동방식		Unipolar 방식
입력구동방식		1 Pulse, 2 Pulse 방식, 위상차 방식
최대 모터전류		3.75 A
최대분할		50000 분할(0.0072°)
입력 절연저항		10 MΩ 이상
입력신호		DC 5 V 200 mA 이하
출력신호		포토키퍼러 open collector 출력 DC 24 V 10 mA 이하
냉각방식		자연공냉방식

Table 3. Calculated constant value of 36cm Automated telescope system

항목	적경	적위
모터의 걸음 분해능	25.92"/펄스	25.92"/펄스
감속비율	1/2000	1/1380
망원경의 걸음 분해능	0.01296"/펄스	0.01878"/펄스
인코더의 자체 분해능	0.126525"/encoder pulse	2.53"/encoder pulse
Scale Term	7.901234568 encoder pulse/ 망원경 1"회전	0.395 encoder pulse/ 망원경 1"회전
Encoder to Step	0.1024 모터 펄스/ encoder pulse	134.8054 모터 펄스/ encoder pulse
망원경의 추적 주파수	1157.4Hz	798.72Hz
망원경의 속도	1.2°/초	2°/초

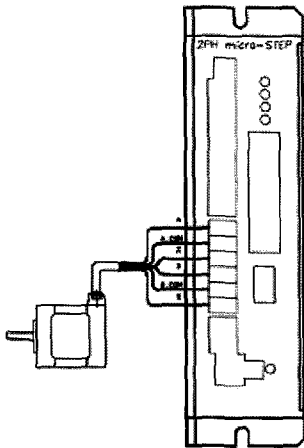


Fig. 7. Motor wiring.

등 역학적인 오차는 마운트모델링을 통하여 최소화되도록 하였다.

한편 홈 스위치(home switch)는 망원경이 유일하게 알고 있는 기준이라고 볼 수 있다. 증분형 인코더의 기준인 영점이며 광센서를 이용하여 홈 스위치를 구현하였다. 망원경을 정확한 홈스위치 위치로 오도록 하기 위해서 먼저 파킹(parking)을 시키고 나서 초기화를 실시하였다. 이때 망원경의 속도는 파킹시에는 빠른 속도로, 초기화시에는 저속도로 구현하여 홈스위치를 잡도록 하였다. 홈스위치를 찾은 후 그 오차를 구동 프로그램 화면에 제시되도록 하였으며, 적경에서 약 0.5", 적위 방향에서는 0"로 정확하게 잡을 수 있었다.

이렇게 정밀한 센서(sensor)를 홈 스위치로 사용한 이유는 마운트 모델의 상수항이 홈 스위치의 초기화

위치에서 결정되기 때문에 가능한 한 정밀도를 높이기 위함이다. 또 리미트 스위치(limit switch)는 무인 관측 시스템이나 원격 관측 시스템에서 안전장치의 역할을 한다. 스위치가 작동되면 하드웨어적으로 모터가 강제로 멈추도록 고안되어 망원경을 제어하도록 고안되었다.

전자부

전자부에서 마이크로 컨트롤러(micro controller)는 인텔사에서 공급하는 16 bit 마이크로컨트롤러인 80C196KC를 이용하여 구현되었다. 이 전자부의 원형은 한인우와 남욱원(1998)이 개발한 것으로 마이크로스텝 드라이버 등 부분적인 부품의 차이만 있을 뿐이다. 이 전자부는 80C196KC CPU 중심으로 코드 메모리(ROM)와 데이터 메모리(RAM)를 설치하였으며, 인코더 구동을 위한 펄스 발생부, 리미트 스위치 제어 로직, 펄스 계수 및 인코더 계수부 등으로 구성된다. Fig. 8은 36 cm 망원경의 모터 제어를 위한 설계도이다.

그리고 이 전자부는 호스트(host) PC와 연결되어 망원경을 운용할 수 있도록 설계하였다. 호스트 PC와 전자부 사이의 통신은 RS-232 시리얼 포트(serial port)를 이용하기로 하였으며, PC와의 거리가 떨어진 경우를 고려하여 RS-422 규격도 지원되도록 하였다. Table 4는 본 전자부의 주요 특징이다.

Fig. 8의 설계도에 따라 개발된 결과는 Fig. 9와 같으며, 이들을 하나의 상자에 넣어서 그 이름을 '컨트롤러(controller)'라고 이름 붙였다.

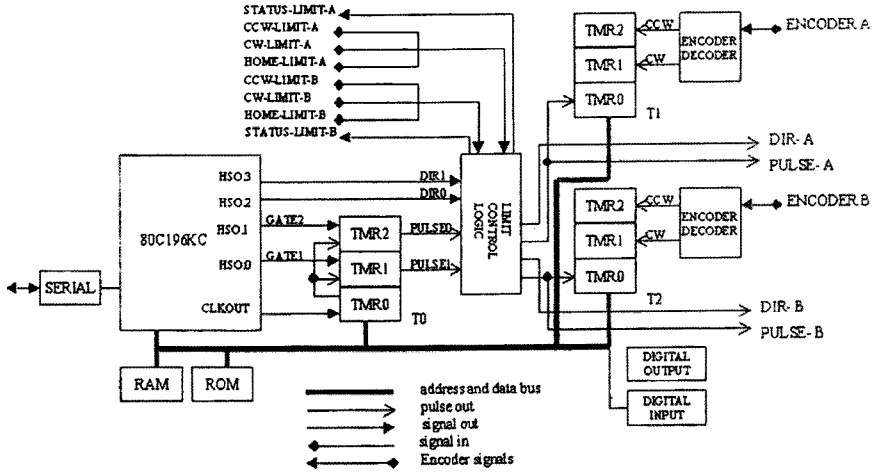


Fig. 8. Design of electronic part.

Table 4. Specification of TCS_KONGJU hardware

적정축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스텝 모터 구동 - 펄스 출력: 고주파 범위 1 Hz-10 MHz - 방향 신호 - 32bit 펄스 카운터 ○ 인코더 피드백 - 인코더 형태: A, A-, B, B- 상 사각파 출력 증가형 인코더 - 분해능 4배(multiplying) 회로 내장 - 32bit 인코더 카운터 ○ 리미트 스위치 신호 처리 - Home, CW 리미트, CCW 리미트(limit) - 리미트 스위치 작동시 모터 강제 정지(pulse 출력 차단)
적위축	적정축과 동일
디지털입출력	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사용자용 디지털 입력 8bit: 수동 조작기로 사용 ○ 사용자용 디지털 출력 8bit: 돔 모터 방향 2bit, 예비 6bit ○ 준 양방향 입출력 8bit: 입력으로 사용 - 부경 리미트 스위치 2bit, 돔 홈스위치 1bit, 예비5bit
예비 카운터(preparation counter)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 16bit 증감 카운터: 돔 인코더 카운터 사용 - 소프트웨어적으로 32bit 카운터로 확장 가능
PWM 출력	3채널(0-255단계)
ADC	8채널 10bit
전원	5V DC



Fig. 9. Control Box.

돔제어

자동 관측을 하려면 망원경 회전에 따라 돔이 함께 연동되어 돌아가야 한다. 이를 위해 돔 회전 모터에 증분형 인코더를 부착하여 모터 회전 각도를 측정 한 후 그 값을 이용하여 돔 위치를 계산하면서 망원경과 함께 연동되도록 하였다. 본 연구에서 활용한 돔 구동은 우레탄 롤러 방식을 채택하여 개발하였다. 그리고 돔과 망원경이 연동되도록 하기 위해 관측 시작 시에는 돔이 영점에 머물러 있도록 하였다. 그

리고 돔이 영점에 머물러 있으면 그곳에 작은 빨간 불이 들어오도록 하였다.

다음은 돔 제어를 위한 파라미터(parameter)들이다. 이 파라미터들이 포함된 파일을 망원경 제어 프로그램(한인우와 남옥원, 1998)에서 초기값으로 입력받아 망원경과 돔이 연동되도록 한 것이다.

```
[돔 컨트롤러 파라미터 입력]
2 // com port for dome control
0 // home switch status at home position
3080000.0 -10.0 // dome cycle and zero point angle
4.0 // MAX DOME ERROR in DEGREE
```

완성된 자동화 36 cm 망원경

본 연구를 통해 얻은 36 cm 망원경 관측 시스템은 Fig. 10과 같이 자동화 망원경, 전자부 그리고 호스트 컴퓨터 등으로 이루어져있다. 여기서 이 36 cm 망원경의 제어 과정은, 먼저 호스트 컴퓨터의 제어프로그램에 의한 명령을 전자부에서 전달받고, 다시 전자부는 해당 명령을 기계부에 전달하여 망원경에 관측할 천

체가 들어오도록 하는 과정으로 구성되어 있다. 따라서 원격지의 사용자는 이 호스트 컴퓨터(ip: 203.253.36.48)로 접근하여 해당 비밀 번호만 입력하면 이 컴퓨터를 제어하면서 천체관측을 수행할 수 있게 된다. 물론 한 대의 망원경이기 때문에 다수의 사용자가 동시에 사용할 수는 없다. 그래서 이 망원경 관리자는 여러 원격지의 사용자들이 관측요청을 받은 다음, 관측 순서를 배정하여 관측을 수행할 수 있게 한다.

마운트 모델링 및 시험 관측

마운트 모델링

망원경 설치 후, 처음 관측을 할 때는 Table 3의 값들을 이용하여 실험실에서 계산된 초기값(Table 5)을 읽혀 관측을 시작한다(김희수 외, 2003). 즉 α_0 과 β_0 는 scale term이며 망원경 구동비 감속비를 통해 구한 값이다. α_0 와 β_0 는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다. 즉, 적경의 홈스위치가 시간각(ha)으로 대략 얼마인가를 알아보고 마운트 모델 식의 ha 대신에 0을 대입하여 $0 = \alpha_0 + \alpha_1 \times ha$ 에 그 값을 대입하여 α_0 를 구했다. 마찬가지로 적위 축 홈 스위치가 적위로 대략 얼마인가를 알아내고 $0 = \beta_0 + \beta_1 \times Dec.$ 에 값을 대입해 β_0 를 구했다.

이와 같이 계산으로 구한 마운트 모델링 계수를 초기값으로 입력하고, 몇 개의 별을 이용하여 마운트 모델링을 실시하였다. 이때 정확한 마운트 모델을 하기 위해 암시야 십자선 가이드(GA-4)를 사용하였다. GA-4는 내부에 3배 바로우 렌즈가 장착되어 있기 때문에 합성 초점길이가 망원경 초점거리(3,555 mm)의 3배가 되어 25 mm 접안렌즈로 관측할 경우 약 426 배의 고배율이 나타나게 된다. 따라서 <수동키>로 전환하여 육안으로 망원경의 중앙 위치를 대략 계산할 때보다 매우 정밀하고 일관성 있는 마운트 모델을 할 수 있었다.

그동안 총 19차례의 마운트 모델을 통해 얻은 최종 결과, 망원경의 극축은 원래의 극축으로부터 남쪽(+)으로 약 13", 서쪽(-)으로 9" 정도 떨어진 지점에



Fig. 10. Automated 36 cm telescope system.

Table 5. calculated mount modeling parameters

항 목	시간각(ha)	적위(Dec.)
망원경의 홈 위치	0h 08m 24s ± 1535 counts	39°17'46" ± 1462 counts
α_1, β_1 (scale term)	7.901234568 encoder pulse/망원경의 1"회전	0.395 encoder pulse/ 망원경의 1"회전
α_0, β_0 (영점)	-18245.282	-137725.266

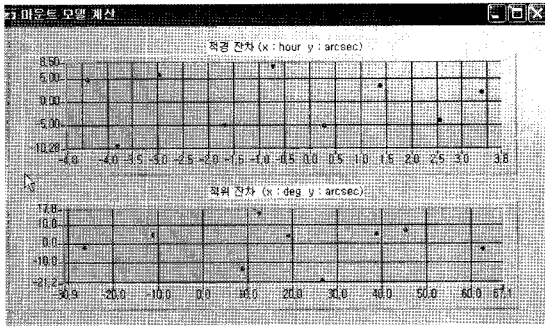


Fig. 11. upper: pointing accuracy in RA direction. lower: pointing accuracy in DEC direction.



Fig. 12. NGC 7235: R filter, 3 min.

위치하게 되었다. Fig. 11은 19차례에 걸쳐 얻은 최종 마운트 모델링 결과로서 적경 및 적위 잔차가 각각 약 10" 및 20" 정도이다. 이와 같이 적위 쪽의 잔차값이 더 큰 이유는 본 연구에서 활용한 적위 쪽의 인코더 분해능(2.53"/인코더 펄스)이 적경 쪽의 분해능(0.126525"/인코더 펄스)보다 더 큰 이유와, 인코더까지의 감속장치 자체도 적경측은 마찰식인 반면, 적위측은 타이밍 벨트와 풀리를 이용한 이유 때문으로 판단된다.

시험 관측

육안 관측에 의한 추적 정밀도

36 cm 자동화 관측시스템이 구축된 후, 최종 마운트 모델의 결과를 바탕으로 추적정밀도를 시험해 보기 위해 십자선이 들어있는 가이드 아이피스인 GA-4를 이용하여 육안관측의 정밀도를 측정해 보았다. 본 관측에 사용된 망원경과 접안렌즈의 정보는 Table 6과 같다.

망원경을 통해서 보이는 전체 화면의 시야는 약 7"이고 약 30분 동안 날별을 추적하며 관측한 결과 GA-4 가운데(약 1")에 잘 위치하고 있었다. 육안관측을 통해 본 결과 추적의 정밀도는 안정적임을 알 수 있었다.

CCD 사진 관측에 의한 추적 정밀도

사진관측을 통해 본 시스템의 추적의 정밀도를 알

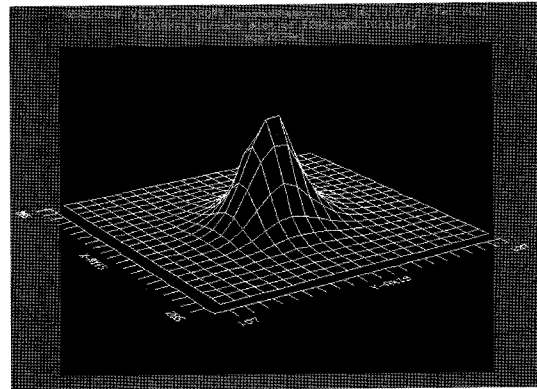


Fig. 13. 3D surface fitting for circle area star of the Fig. 13.

아보았다. 이를 위해 NGC7235 산개성단을 선정하여 30초 간격으로 찍어 보았다. Fig. 12는 R필터로 3분의 노출을 주어 찍은 결과 예이다.

이를 CCD 영상 분석 프로그램인 IRAF의 NOAO 패키지의 imexam task를 이용하여 분석해 보았다. Fig. 12의 둥근 부분의 별을 3차원 표면 피팅(fitting) 결과 Fig. 13과 같이 비교적 안정된 영상임을 확인할 수 있었다. 또 Fig. 12에서 밝은 별 중심으로 10개를 선정하여 FWHM를 조사해본 결과 평균 3.2" 정도였다. 이러한 결과는 본 자동화된 36 cm 망원경 시스템을 원격전체 관측에 활용 가능함을 암시한다. 물론 앞으로도 계속 정밀한 극축 조정 및 마운트 모델링을 통하여 개선해나갈 것이다.

Table 6. Telescope and eyepiece using observation

망원경 F	GA-4	합성 F	접안렌즈 f	접안렌즈 시야	배율	시야
3556 mm	3X	10,668 mm	25 mm	50°	426.7	0.117° (7')

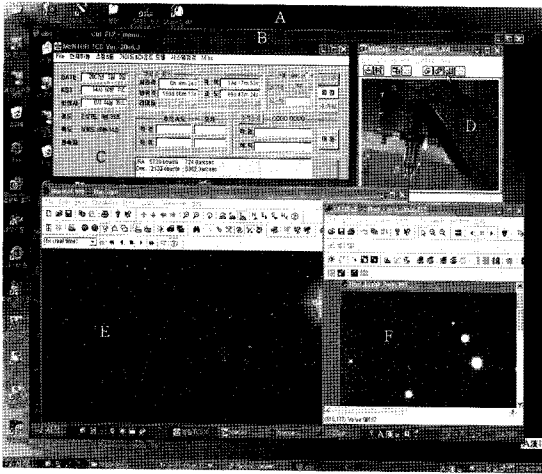


Fig. 14. A situation of remote observation.

인터넷을 통한 원격 관측

원격천체관측을 위한 컴퓨터의 기본적인 운영체제는 Windows 95/98/XP를 기반으로 하였다. 그리고 어떤 학교나 가정 등 임의의 원격지 개인용 컴퓨터에서 호스트 컴퓨터로 접근할 때의 프로그램은 Radmin (ver 3.0)을 활용하였다. 이 소프트웨어를 활용하여 호스트 컴퓨터로 들어가면 호스트 컴퓨터의 화면이 원격지의 개인용 컴퓨터 화면에 나타나기 때문에 망원경을 제어하면서 천체관측을 할 수 있게 된다(Fig. 14). 호스트 컴퓨터에서 망원경을 제어하면서 관측을 할 때 필요한 프로그램은 크게 망원경을 제어하는 프로그램, 망원경의 움직임을 감시하는 프로그램, 관측하려는 천체를 찾아가는 프로그램 그리고 관측할 천체를 사진으로 찍는 프로그램 등이 필요하다(부록 참조).

Fig. 14는 원격지의 개인용 컴퓨터에서 호스트 컴퓨터로 들어가 원격제어를 하면서 천체관측을 하는 장면이다. 이 그림에서 “A” 영역은 망원경에서 멀리 떨어진 원격지의 컴퓨터의 배경화면이고, “B” 영역은 망원경을 제어하는 호스트 컴퓨터의 배경 화면이다. “C”는 망원경을 제어하면서 관측하고자 하는 천체를 찾아주는 프로그램이다. 이 프로그램은 한인우와 남옥원(1998)의 망원경 제어 프로그램 소스가 공개되어 있는 바, 이를 바탕으로 메뉴와 ‘TheSky(6.0)’ 연동 등을 추가하여 활용에 용이하게 하였다. 또 이 프로그램의 메뉴상에 “토종”이라는 버튼을 누르면 비교적 밝은 5000여개의 천체가 성도 상에 제시되는데 이때 원하는 천체를 클릭하면 망원경이 그 천체로 가도록

추가하여 개발하였다. “D”는 웹카메라로 망원경의 움직임을 모니터링(monitoring)하는 화면이다. 따라서 원격지의 관측자라고 하더라도 마치 망원경 옆에서 망원경을 보면서 관측하는 효과를 얻을 수 있다. “E”는 “TheSky”라는 프로그램으로서 화면의 중간 부근에 등근 마크는 망원경의 현재 위치를 나타낸다. 이때 관측할 천체를 지정하여 망원경을 이동하라는 명령을 하면 현재의 망원경 위치에서 관측할 천체로 망원경이 이동하게 된다. “F”는 망원경이 관측 천체 위치로 향한 상태에서 CCDsoft라는 천체사진촬영 프로그램을 이용하여 관측된 결과 장면이다. 이를 위해 망원경 접안부에 CCD 카메라를 연결해 두어야 한다. 이와 같은 원격 천체관측 과정과 관측결과를 통해 학습자는 천체관측 탐구활동을 해나가게 된다.

고 찰

망원경을 자동화하여 인터넷에서 활용토록 하기 위해서는 망원경의 광축 맞추기, 극축맞추기, 수평맞추기 그리고 마운트 모델링 등을 정교하게 실시해두어야 한다. 이를 위해 먼저 광축 맞추기를 실시하였다. 여러 가지 작업을 수행해나가는 과정에서 천체의 상이 제대로 보이는가를 확인하기 위해서였다. 그리고 나서 수평맞추기를 실시하였다. 극축 맞추기는 처음에는 36 cm 망원경이 설치된 위치에서 진북 방향을 찾고 망원경 극축의 고도를 그 곳에서의 위도로 맞추었으며, 망원경에 임의의 별을 넣어 그 지나가는 방향을 확인하면서 미세 조정을 실시해나갔다. 마운트 모델링 과정에서는 오차의 크기를 줄이기 위해 다양한 위치의 많은 별을 활용하여 약 20회 정도 모델링 계수를 얻어서 가장 정밀도 높은 값을 활용하였다. 이 과정에서 망원경의 극축 조정을 정교하게 해야 보다 정확도 높은 모델링 값을 얻을 수 있다는 당연한 사실을 다시 한번 확인할 수 있었다. 본 연구에서 포크식 마운트를 활용했던 바, 처음에는 수평맞추기에 크게 신경을 쓰지 않았다. 이러한 결과 극축을 잘 맞추어도 모델링 결과가 좋지 않게 나왔었다. 그리하여 경통을 받치고 있는 포크 부분을 분해하여 정교한 수평맞추기를 실시한 결과 보다 정밀도 높은 모델링 결과를 얻어낼 수 있었다. 이러한 과정을 거치면서 찍은 성단 사진 결과는 눈으로 볼 때나 IRAF로 분석하여 볼 때 실제 분석과정에 활용할 수 있는 좋은 관측결과로 보여졌다.

현재 최종 마운트 모델링을 통하여 얻은 망원경의 극축은 원래의 극축으로부터 남쪽(+)으로 약 13°, 서쪽(-)으로 9° 정도 떨어진 지점까지 접근 하였다. 추적의 정밀도는 약 1"/분로 비교적 양호한 상태로 판단되었다. 이는 IRAF를 통한 1차원 가우스 피팅에서 좌우 대칭인 것을 확인할 수 있었고, 3차원 피팅 결과에서도 대칭형인 결과로 확인할 수 있었다. 앞으로도 계속 정교한 극축맞추기와 마운트 모델링을 통해 지향정밀도와 추적정밀도를 개선해나갈 것이다. 그리하여 본 시스템의 장기적인 안정성을 유지해나갈 것이며, 웹상에 원격관측소를 공개하여 천체관측 교육면에서의 그 효과를 극대화하기 위해 홈페이지를 개설할 것이다. 원격관측 홈페이지에서는 원격관측에 대한 구체적인 안내 뿐만 아니라 기존에 실측된 관측된 자료들도 남아있도록 구성하여 현재의 관측자가 기존의 관측자료도 함께 활용할 수 있도록 해나갈 것이다. 특히 중등학교의 교육과정을 수행하는 과정에서 천체관측이 필요하다고 요청을 하는 경우에 우선적으로 지원할 계획이다.

한편 원격지의 관측자가 밤 시간대에 본 관측소에 인터넷으로 접근하여 돔 내부를 보면 감감할 것이다. 그렇게 되면 원격지의 관측자는 도움 슬릿이 열려 있는지 망원경이 슬릿이 열린 방향으로 잘 향하고 있는지 알기 어려울 것이다. 이런 점들을 해결하기 위해 원격지에서도 돔 내부의 전등을 켜고 끌 수도 있고, 돔 내부의 망원경의 모습과 돔의 슬릿을 열고 닫을 때의 모습을 볼 수도 있도록 하기 위해 방향 제어용 웹 카메라를 설치(<http://203.253.36.40>)하여 두었다. 따라서 관측자는 이 웹 카메라를 적절히 제어하면서 돔 내부의 상황을 감시하면서 관측을 수행해 나가면 된다.

결 론

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 36 cm 망원경을 자동화하기 위해 3.5 m 도움, 적도의, 도움과 적도의와의 연동, 어두운 밤 돔 내부 상황을 감시할 수 있는 제어용 감시 카메라 설치 및 불 켜기 그리고 기존에 개발된 제어 프로그램을 보완·개발하여 원격지에서도 천체관측을 할 수 있는 환경을 갖추었다. 본 자동화 망원경의 지향정밀도는 적경 및 적위에서 각각 약 10" 및 20"이며, 추적정밀도는 약 1"/분이다. 이러한 결과는 인터

넷상의 어떤 교실이나 가정에서 본 자동화망원경을 활용하여 의미있는 관측결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

2. 천체관측에서 어려운 일 중 하나는 천체를 찾는 일이다. 이를 보다 쉽게 해결하기 위해 “토종” 성도 프로그램을 개발하였다. 즉 관측자가 관측하려는 토종 성도상의 천체를 클릭하면 망원경에 그 천체가 정확하게 위치하게 하였다. 이러한 결과는 관측자가 세차 및 고유운동 보정 등 천체의 위치보정 과정없이 보다 빠르고 효과적인 관측을 할 수 있음을 의미한다.

3. 본 연구의 결과는 과학교육 및 과학의 대중화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 즉 최근에 초고속 인터넷이 일반화되면서 사이버교육이 활성화되어가고 있다. 이런 점에서 과학교육에서도 사이버 상에서 원격지의 실험기기를 다루면서 탐구학습을 실시한다면 보다 나은 과학교육적 효과가 있을 것이다. 뿐만 아니라 별 관측을 원하는 누구든지 어디서든지 관측할 수 있는 시스템이므로 과학의 대중화에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 본 연구의 결과는 예산 및 비용 절감효과에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 즉 대학 등에서 보유하고 있는 망원경을 본 연구에서처럼 자동화하여 원격관측이 가능하도록 지원한다면 망원경의 활용도를 높일 수 있고, 국가적인 측면에서도 모든 학교에 고가의 망원경을 지원해주지 않아도 되므로 예산절감도 할 수 있을 것으로 판단된다. 또 일부러 관측소에 가지 않아도 되므로 관측 비용을 줄일 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 연구비 지원(KRF-2006-001-B00339)에 의해 수행되었다. 관계자에게 감사드린다. 그리고 본 논문을 세심하게 심사해주신 권석민 회원 그리고 이름을 밝히지 않은 심사자들에게 감사드린다.

참고문헌

- 김진수, 1998, 전기공학의 기초. 동일출판사, 서울, 549 p.
 김혁, 1999, 한국교원대학교 청람 천문대 16인치 망원경의 관측시스템 개선. 교원대학교 석사학위논문, 97 p.
 김희수 외, 2003, 공주대학교 천문대 16인치 반사망원경의 원격 제어 시스템 구축. 한국지구과학회지, 24(5), 456-

466.

조영우, 1997, 서울대학교 천문대 41 cm 반사망원경의 구동 및 제어 시스템 개발. 서울대학교 석사학위 논문, 121 p.
한인우, 남옥원, 1998, 중소형 망원경 제어 시스템 MS-

TCS 개발. 천문학 논총 13(1), 85-98.

Trueblood, M., and Genet, R., 1985, Microcomputer Control of Telescopes, Richmond, Virginia, USA, Willmann-Bell, Inc., 10 p.

2007년 3월 16일 접수

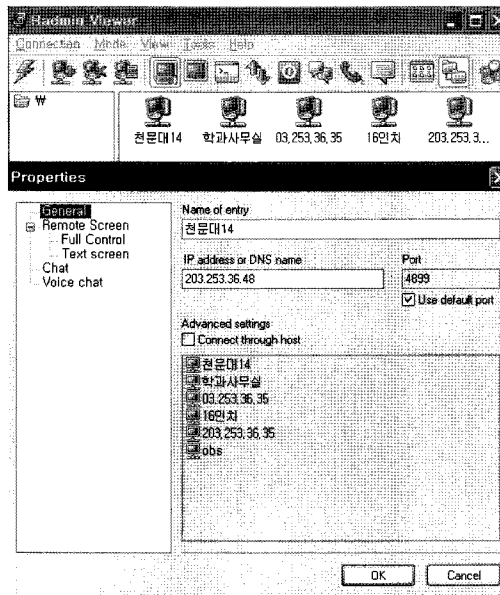
2007년 4월 27일 수정원고 접수

2007년 7월 11일 채택

부 록

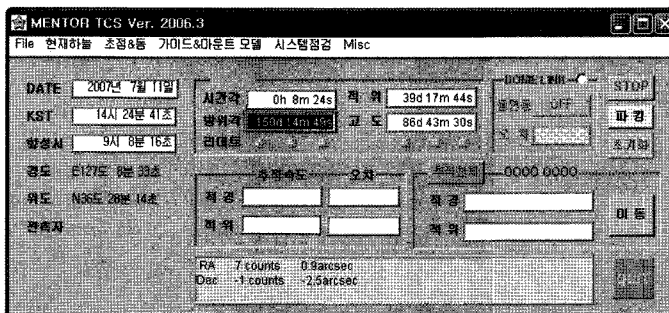
1. 원격지의 컴퓨터에 접속하는 프로그램: Radmin(3.0)

원격관측을 하기 위해서는 인터넷을 통하여 원격지에 있는 호스트 컴퓨터로 접근하는 일이 우선되어야 한다. 본 연구에서는 Radmin이라는 프로그램을 이용하였다. 이 프로그램을 활용하기 위해서는 호스트용 Radmin과 개인 사용자용 Radmin이 필요하다. 그래서 호스트 컴퓨터에는 호스트용 Radmin 프로그램을 설치하여 계정과 비밀번호를 입력해두어야 한다. 그리고 일반 개인용 컴퓨터에는 개인용 Radmin 프로그램을 설치한 후, 해당 호스트 컴퓨터에 들어가려면 그 호스트 컴퓨터의 IP 주소, 계정 그리고 비밀번호를 입력한 후 그 호스트 컴퓨터로 들어가게 된다. 다음은 개인용 Radmin 활용 장면이다.

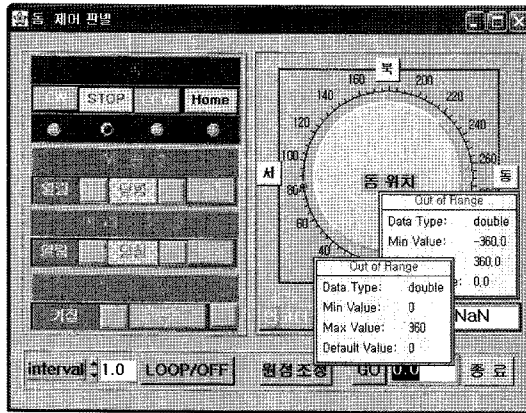


2. 망원경 제어 프로그램: TCS

본 연구에서 활용한 망원경 제어 프로그램은 TCS이다. 이 프로그램을 활용하기 위해서는 먼저 관측지의 위도와 경도, 파킹 및 초기화 과정 등을 간단히 거친다. 그리고 나서 관측하려는 천체의 적경과 적위를 입력하여 '이동'을 누르면 그 천체를 찾아준다. 이때 돔 연동 항목에 체크를 해두면 돔이 망원경과 함께 연동되어 움직인다. 다음은 TCS 프로그램의 주 화면이다.

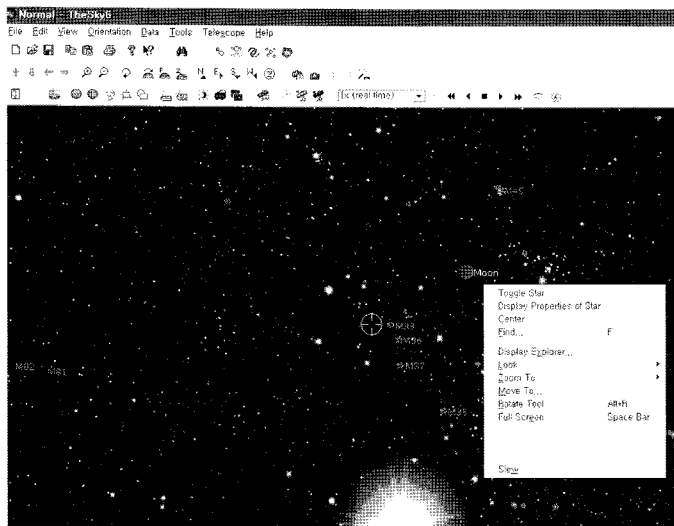


그리고 돔의 상·하 슬릿을 열기위해 메뉴의 초점&돔 항목으로 들어가서 ‘돔’을 누르면 다음과 같이 돔을 제어하는 창이 뜬다. 이때 돔의 윗 슬릿 열기·아랫 슬릿 열기 등을 통해 슬릿을 열어두고 관측을 실시한다.



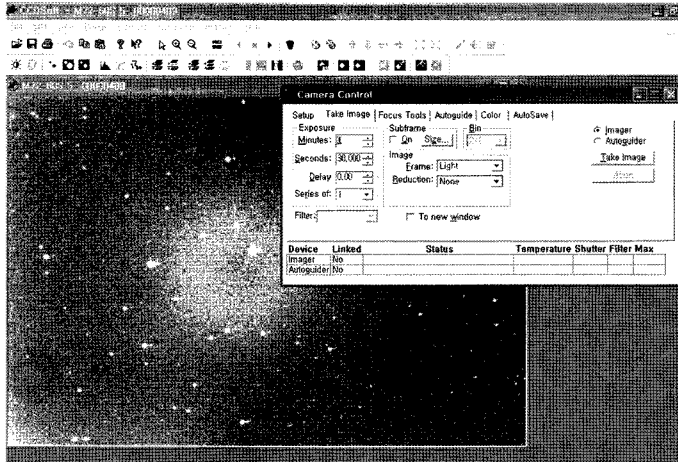
3. TheSky(6.0)

본 연구에서 관측하려는 천체를 성도를 이용하여 찾을 때는 TheSky라는 천체관측 프로그램을 이용하였다. 이 프로그램을 앞서의 망원경 제어프로그램인 TCS와 연동시키면 화면의 중앙에 십자선이 들어있는 등근 원이 나타난다. 이 원의 위치가 현재 망원경이 가리키고 있는 방향이라는 의미이다. 이때 관측자는 관측하려는 천체를 지정한 후 slew를 시키면 그 천체를 망원경 중앙에 위치시켜 준다.



4. CCDSoft

본 연구의 원격관측에서는 관측할 천체를 망원경 중앙에 맞추고 나서 CCD 카메라로 찍어서 활용할 수 있게 구성하였다. 이때 필요한 프로그램이 CCD 촬영 프로그램이다. 본 연구에서는 CCDSoft라는 프로그램을 활용하였다. 이 프로그램을 활용하기 위해서는 먼저 프로그램과 CCD 카메라를 연동시킨 다음, CCD 카메라의 온도를 원하는 수준으로 맞추고 나서 플랫폼 화면, 천체 영상 화면 그리고 암흑화면 등을 찍어 활용한다.



5. 웹 카메라

원격 관측을 실시할 때는 원격지 망원경의 움직임을 보면서 관측을 실시해야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 DCS-5300G 모델의 웹카메라를 이용하였다. 이 웹카메라는 상-하, 좌-우로 움직일 수 있어서 돔 내부의 망원경의 움직임 뿐만 아니라 돔의 상-하 슬릿의 움직임 및 회전을 감시할 수 있다. 그리고 캄캄한 밤 시간대에 돔 내부의 불을 켜거나 끄는 일도 중요하다. 이 웹카메라에는 전등을 연결할 수 있게 구성되어 있고 인터넷으로 돔 내부의 전등을 켜거나 끌 수 있는 기능이 있어서 돔 감시용으로 적합하였다.

