

공주대학교 천문대 16인치 반사망원경의 원격 제어 시스템 구축

김희수^{1,*} · 김칠영¹ · 정정인¹ · 김종현¹ · 김 혁² · 장비호³

¹공주대학교 과학교육학부 지구과학교육 전공, 314-701 충남 공주시 신관동 182

²경기도 과학교등학교, 440-800 경기도 수원시 장안구 송죽동 산 28-1

³한국천문연구원, 305-348 대전광역시 유성구 회암동 61-1

Development of Remote Control System for KNUO 16" Reflector Telescope

Hee-Soo Kim^{1,*} · Chil-Young Kim¹ · Jung-In Chung¹ · Jong-Hun Kim¹
Hyouk Kim¹ · Bi-Ho Jang¹

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

²Kyonggi Science Highschool, Suwon 440-800, Korea

³Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

Abstract: We developed a remote control system for the 16" reflecting telescope at KNUO (Kongju National University Observatory). This system is a close loop system. The electronic control part used TCS-196 of the Korea Astronomy Observatory, the mechanical part was developed directly in this research. The pointing accuracy of this system was $\pm 50''$ in the hour angle direction, $\pm 40''$ in the declination direction after mount modeling. The tracking accuracy was about $1''/\text{min}$. This pilot test result means that this system is suitable for research or education of astronomical fields.

Keywords: remote control system, remote observation

요약: 본 연구에서는 공주대학교 천문대 16인치 반사망원경의 원격 제어 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 닫힌 루프 시스템이다. 전자제어부는 한국천문연구원에서 개발한 TCS-196를 활용했고, 기계부는 직접 개발하였다. 이 원격제어 망원경의 마운트 모델링 후 얻은 지향정밀도는 시간각 방향에서는 $\pm 50''$, 적위 방향에서 $\pm 40''$ 이며, 추적 정밀도도 약 $1''/\text{min}$ 정도였다. 이러한 예비관측 결과는 본 시스템이 천문학 연구 및 교육에 적당함을 의미한다.

주요어: 원격제어 시스템, 원격관측

서 론

최근의 전자 정보 기술의 발달은 관측 천문학 영역의 망원경 제어에도 많은 영향을 주고 있다. 사회의 모든 분야에서 급속히 진행되는 정보화의 물결에 맞추어 천체 관측도 네트워크를 이용한 원격 관측의 중요성이 크게 부각되고 있다. 원격 관측 시스템은 관측자가 일부러 원격지에 있는 천체관측소를 방문하

지 않아도 천체 관측을 손쉽게 할 수 있기 때문에 시간 및 경비 등을 절약할 수 있다. 수동관측 시스템은 많은 양의 관측자료를 신속하고 정밀하게 얻는데 그 한계가 있다. 즉 수동관측 시스템에서는 관측자가 망원경의 이동, 천체의 포착, 관측자료의 기록 및 여러 관측 상황의 통제와 진행 모두를 수행해야 하기 때문에 시간, 경비, 관측의 정확도 등의 부담이 커다.

한편 각급 중·고등학교에는 보유하고 있는 망원경은 그 성능이 비교적 낮아 희미한 천체관측이 어렵고 그나마 소형망원경 조차 보유하지 않은 학교도 많다. 이러한 경우 학생들이나 일반인들이 원격지의 정밀도 높은 망원경을 인터넷을 통해 관측할 수 있

*Corresponding author: heesoo54@kongju.ac.kr
Tel: 82-41-850-8291
Fax: 82-41-850-8299

게 하면 열악한 천문교육의 환경을 극복할 수 있게 되어 보다 역동적인 교수-학습 과정을 진행할 수도 있을 것이다. 또 실시간으로 관측된 결과를 계속적으로 지정된 홈페이지에 올려두면 많은 학습자들이 필요에 따라 효과적으로 활용할 수도 있을 것이다. 결국 성능이 좋은 여러 곳의 망원경을 원격자동화 시스템으로 개발하여 유기적으로 연결하여 활용도록 하면 망원경의 활용도도 높일 수 있고 상당한 액수의 관측 비용을 줄일 수 있으면서 양질의 천문 정보를 얻을 수 있을 것이다(Genet, 1982; Alderman · Dukes · Alderman, 1992). 이와 관련된 선행 연구결과로 한국천문연구원의 원격천체관측 시스템이 있다(한인우 외, 1997; 박병곤 외 1998, 한인우와 남옥원 1998). 이곳에서는 원격의 관측자들이 미리 관측신청을 하면 원격시스템 관리자가 관측 순서를 부여한 후에 지정받은 날에 관측을 수행하도록 구성되어 있다 또 한국교원대학교 청암천문대의 40cm 반사 망원경도 자동화되어 있다(김혁, 1999). 대전교육과학연구원에도 24인치 자동화시스템이 개발되어 현재 시험관측을 하고 있는 중이다. 이에 본 연구에서는 공주대학교 16인치 반사망원경을 원격제어 시스템으로 구축하여 여타 다른 자동화된 천문대와 유기적으로 연결하여 함께 활용할 수 있는 토대를 마련하고자 한다.

이론적 배경

제어이론의 기초

제어 시스템에는 열린 루프(open loop) 시스템과 닫힌 루프(close loop) 시스템이 있다(김진수, 1998). 닫힌 루프 시스템은 시스템 제어의 입력에 대해 기대되는 출력과 실제 나타나는 출력의 차이를 다음의 입력에 적용시키는 시스템이다. 닫힌 루프 시스템을 망원경 제어에 적용하면 망원경의 지향 위치와 인코더를 통해 알아낸 실제 위치와의 차이를 실시간으로 비교하여 보정할 수 있다. 열린 루프 시스템은 되먹임이 없는 시스템이다(조영우, 1997).

열린 루프 시스템은 내린 명령에 대한 수행여부를 확인하기 어렵기 때문에 정밀도가 크게 요구되는 시스템은 닫힌 루프 시스템을 써야한다. 특히 열린 루프 시스템은 강한 바람과 같이 임의로 발생하는 오차를 전혀 찾아낼 방법이 없어 원격관측과 같은 정밀관측에서는 불리하다(Trueblood & Genet, 1985).

Table 1. Correction parameter to obtain apparent position

순서	보정요소	최대값
1	세차	40' (대략 50년×50"/year)
2	대기 굴절	30' (천정거리 60°인 곳에서 2')
3	연주광행차	20"
4	장동	17"
5	지심시차	9"/distance in A.U.
6	연주시차	1"/distance in pc
7	궤도운동	1" 정도의 크기로 변동
8	고유운동	±0.1"~0.001"
9	일주광행차	0.3"
10	극운동	0.1" (random)

Table 2. Systematic errors by mechanical elements

순서	보정 요소
1	영점(zero offset)-직경 및 적위축에서 인코더가 0으로 정해진 부분
2	극축-적도의식 마운트
3	두 축의 비수직성
4	광축
5	경통의 휨
6	가대의 휨
7	기어의 오차
8	디스크의 편심오차
9	베어링의 오차
10	구동축의 비틀림 오차

망원경 지향오차

천문학적인 오차와 보정: 관측자가 보통 목록에서 얻는 별의 위치에 대한 정보는 정해진 시각에 해당하는 적경과 적위이며 그 위치를 목록 위치라고 한다. 그러나 관측자가 실제 보게 되는 별은 관측 시각과 관측 위치에 영향을 받게 되는데 이를 겉보기 위치라고 하며 목록 위치와는 차이가 있다. 따라서 망원경으로 겉보기 위치를 찾아가기 위해서는 목록에서 얻은 적경과 적위를 현재 겉보기 위치의 적경과 적위로 보정해야 하는데 그 보정 요소들은 Table 1과 같다. 세차효과와 대기굴절효과가 다른 효과들에 비하여 상대적으로 크기 때문에 이를 효과 중심으로 보정을 한다.

역학적인 오차와 보정(마운트 모델링)

천문학적인 계산으로 겉보기 위치를 정확히 얻어냈다고 하더라도 망원경을 정확히 그 위치로 지향시키는 것은 또 다른 문제이다. 즉 완벽한 기계는 없기 때문에 기계 또는 전자적인 원인으로 오차가 생기기 마련이다. 기계적으로 생길 수 있는 오차 요소는

Table 2와 같다.

위의 요소들을 고려하여 정리하면 다음과 같은 식으로 적도의식 망원경의 마운트 모델을 나타낼 수 있다.

- 적경축 마운트 모델 식

$$\begin{aligned} H.A. = & a_0 + a_1 ha + a_2 \tan(dec) \times \sin(ha) \\ & + a_3 \tan(dec) \times \cos(ha) + a_4 \cos(ha) + a_5 \sin(ha) \\ & + a_6 1.0 / \cos(dec) + a_7 \cos(ha \times 25.0) + a_8 \sin(ha \times 25.0) \\ & + a_9 \sin(ha) \times \cos(\psi) \end{aligned} \quad (1)$$

- 적위축 마운트 모델 식

$$\begin{aligned} Dec. = & b_0 + b_1 (dec) + b_2 \cos(ha) \\ & + b_3 \sin(ha) + b_4 \sin(\phi) \times \cos(dec) \\ & - \cos(\phi) \times \sin(dec) \times \cos(ha) \\ & + b_5 \cos(dec) \times b_6 \sin(dec) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 ha 는 시간각(hour Angle), dec 는 적위 (declination) 그리고 ϕ 는 위도(latitude)이다. 적경 식에서 a_0 은 영점, a_1 은 걸음폭, a_2 와 a_3 는 극축 보정항, a_4 와 a_5 는 원판의 편심오차 보정항, a_6 는 적경축과 적위축의 비수직성 오차 보정항, a_7 과 a_8 은 인코더 샤프트 롤러의 편심오차 보정항, a_9 은 경통 휨오차 보정항이다.

적위 식에서 b_0 은 영점, b_1 은 걸음폭, b_2 와 b_3 은 극축 보정항, b_4 는 경통의 휨오차 보정항, b_5 와 b_6 는 원판의 편심오차 보정항이다.

실제 마운트 모델을 설정한다는 것은 여러 개의 별을 실제 관측하여 $a_0 \sim a_9$, $b_0 \sim b_6$ 의 계수를 결정하는 일을 말한다. 이러한 식을 이용하여 자동화 망원경 시스템을 완성한 후 마운트 모델링을 실시하게 된다.

자동화 망원경 개발

본 연구에서는 공주대학교 16인치 반사망원경을 원격제어하기 위하여 Fig. 1과 같은 순서에 따라 개발을 진행하였다.

기준의 관측 환경 조사

그 동안 공주대학교 천문대 16인치 반사망원경(직

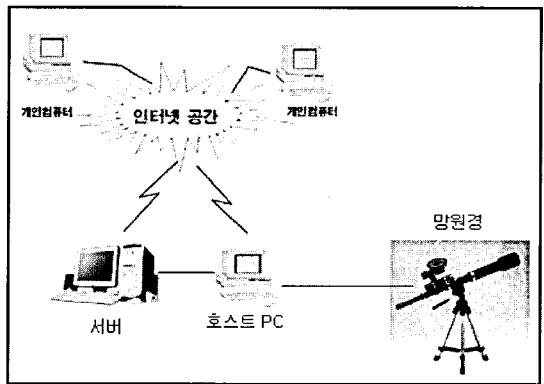


Fig. 2. Concept map of a remote control telescope system.

경: 16인치 카세그레인식 반사망원경, 초점거리: 4550mm)은 위치를 나타내는 계기판이 시간각과 적위로 표시되어 있었던 바, 영점조준을 실시하면서 관측천체를 빠른 시간내에 찾기 어려웠고, 개인용 컴퓨터로 제어할 수 있는 시스템이 아니어서 완전히 수동으로 다루어왔다. 이에 따라 목적성과 비교성이 서로 가까이에 있는 쌍성(또는 자체 변광성) 중심으로 관측을 실시하여 왔다. 즉 성단관측처럼 성단 주변의 여러 표준성을 쉽게 찾아가면서 관측을 수행하기에는 어려움이 매우 많았던 관측 시스템이었다.

개발 방향

Fig. 2과 같이 원격의 천체망원경을 인터넷을 통해 호스트 컴퓨터에서 제어하면서 원격 관측할 수 있는 16인치 반사망원경 시스템을 개발하고자 한다. 여기서 호스트 컴퓨터는 망원경을 직접 제어하는 컴퓨터이다. 이와 같은 원격제어 망원경 시스템을 개발하기 위해서는 망원경과 관련된 기계부, 전자부, 광학부, 도움 자동화, 소프트웨어 등이 함께 개발되어 통합되어야 한다. 여기서 기계부는 망원경을 직접 움직이는 영역을 의미하고, 전자부는 망원경의 기계부에 신호를 보내는 영역을 의미한다. 광학부는 천체 영상의 초점 등을 맞추는 부분이다. 또 망원경의 경통의 움직임에 따라 자동으로 둠이 움직여야 한다. 이러한 전체적인 흐름은 호스트 컴퓨터에 내장된 망원경 제어 프로그램의 명령에 따라 이루어지게 된다.

기준의 관측환경 조사 → 개발 방향 → 원격제어 시스템 설계 및 개발 → 시험관측

Fig. 1. Development procedure of a remote control system.

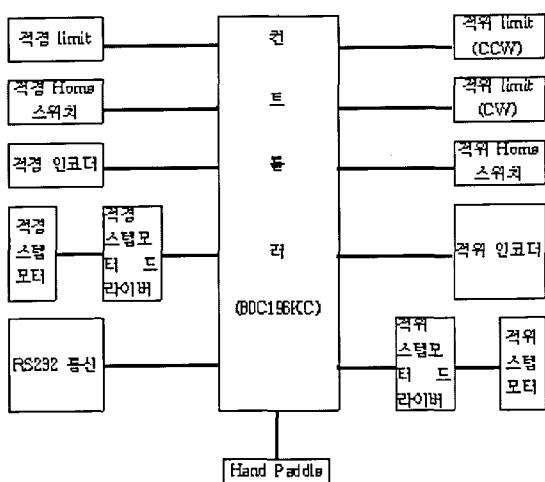


Fig. 3. Basic concept map of control system for KNU 16'' telescope.

원격의 일반 개인용 컴퓨터 사용자는 인터넷을 통하여 호스트 컴퓨터에 접근하여 마치 호스트 컴퓨터앞에서 망환경을 직접 제어하는 것처럼 제어하면서 관측을 실시한다. 원격의 개인용 컴퓨터에서 호스트 컴퓨터로 접근하는 것은 pc-anywhere, myPcGate 소프트웨어 그리고 windows-XP 등을 활용하면 가능하다.

원격제어 시스템 설계 및 개발

원격제어 망원경 시스템은 크게 전자부, 기계부, 광학부, 도움으로 구성된다. 이를 위해 Fig. 3과 같이 제어영역의 핵심부인 전자부와 기계부에 대한 기본적인 개념도를 먼저 작성해보았다. 그리고 각 부분에 대한 구체적인 설계·개발 과정을 통해 전체적인 원격제어 망원경 시스템을 완성하였다.

전자부: 전자부는 망원경에 달린 기계들에게 전기적인 신호로 명령을 주는 영역으로서 크게 컨트롤러와 마이크로스텝 드라이버로 나눌 수 있다. 여기서 컨트롤러는 시리얼 통신, ADC(Analog to Digital Convertor), PWM(Pulse Width Modulation), 디지털 입출력, 카운터 등의 다양한 기능을 제공하는 Intel사의 80C196KC(<http://www.ee.uidaho.edu/ee/classes/ee443/L4.pdf>)를 활용하여 제작한 한국천문연구원의 TCS-196을 이용하였다(한인우 외, 1997; 한인우·남욱원, 1998). TCS-196은 복잡한 천문계산이나 제어 기능은 개인용 컴퓨터에서 수행하고, 제어기에서는 간단한 일만 처리한다. 다음 Fig. 4는 전자부 설계도이다.

이를 토대로 얻은 마이크로콘트롤러와 마이크로스

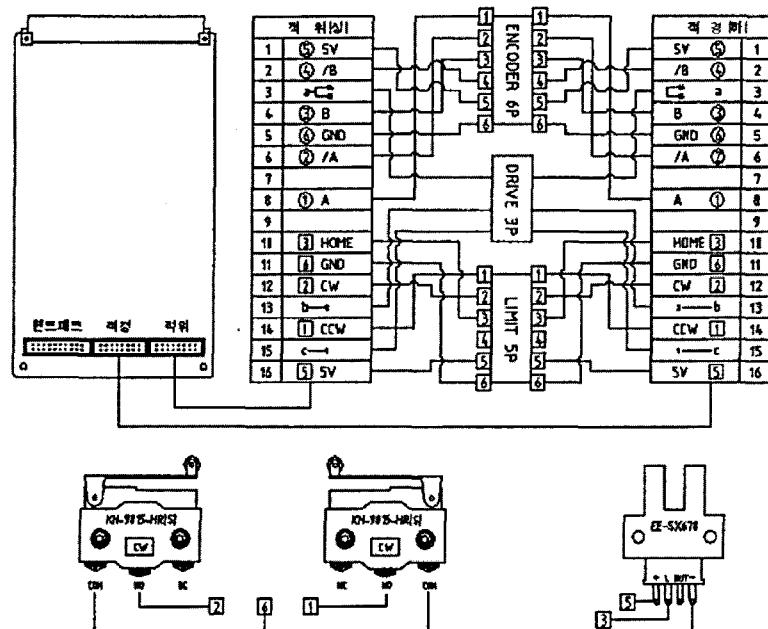


Fig. 4. Design of electronic part.

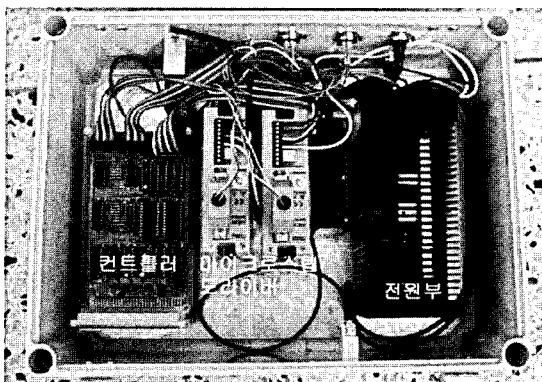


Fig. 5. Control box.

텝드라이버를 Fig. 5와 같이 하나의 상자에 넣어서 그 이름을 ‘콘트롤러’라고 이름 붙였다. 또 이 콘트롤러를 호스트 컴퓨터에서 제어하기 위해 콘트롤러 영역과 호스트 컴퓨터를 연결하기 위해 직렬 포트선 (RS232C)을 이용하였다.

기계부: 기계부는 망원경을 직접 움직이는데 필요한 인코더, 스텝모터, 흄스위치, 동력전달부 등을 망원경에 붙여 기동하는 부분이다. 따라서 망원경을 움직이는데 필요한 부품들을 먼저 구입한 다음, 이를 망원경에 부착하기 위한 연결장치 등을 선반작업을 통하여 깎거나 만들어 활용하였다. 다음 Fig. 6 및 Fig. 7은 기계부의 설계도이며, Fig. 8은 적경부

및 적위부의 완성 결과이다. 적경부의 인코더는 축에 직접 연결할 수 없어서 디스크에 붙여 연결했다. 이 때 인코더 앞에 직경 24mm 롤리를 함께 달아 증속 ($360 \div 24 = 15$ 배)하여 분해능을 높였다. 적위부 인코더는 적위 축에 직접 달아서 연결하였다. 즉 증속장치 없이 직접 연결하였다.

여기에서 활용한 스텝핑 모터는 OEM 83-62-MO (Table 3)이며 마이크로스텝 드라이버와 결선 설계도는 Fig. 9와 같다.

스텝핑 모터에서 나온 동력이 망원경에 보다 부드럽게 전달되도록 위해 디스크형 감속 장치를 연결하였다. 디스크에 연결되는 월에 1:3 감속기(모델명: P8K3L1 1:3 (주)삼양감속기)를 활용하여 감속을 1/3로 했다. 따라서 월기어가 360개 있으므로 1080배 감속이 이루어진 셈이다. 결국 월기어가 1회전 하는데 스텝모터가 1080회 회전해야 한다. 또 인코더의 시작 위치를 알리기 위해 흄스위치를 달아두었다.

흡스위치는 망원경이 유일하게 알고 있는 기준 위치이다. 중분형 인코더의 영점을 잡을 때도 이용되고 하늘에 떠있는 별들에 대해서 망원경의 지향 오차가 나타날 때에도 보다 정확하게 별을 찾아갈 수 있는 위치를 제공한다. 본 연구에서 흄스위치로 활용한 포토센서는 광센서인 한국오므론(주)의 EE-SX670이다. 광센서에는 상하 두 개씩 네 개의 발이 달려있고 칼날 역할을 하는 작은 막대가 하나 달려있다. 이와 같이 정밀한 광센서를 흄스위치로 사용한 이유는 마

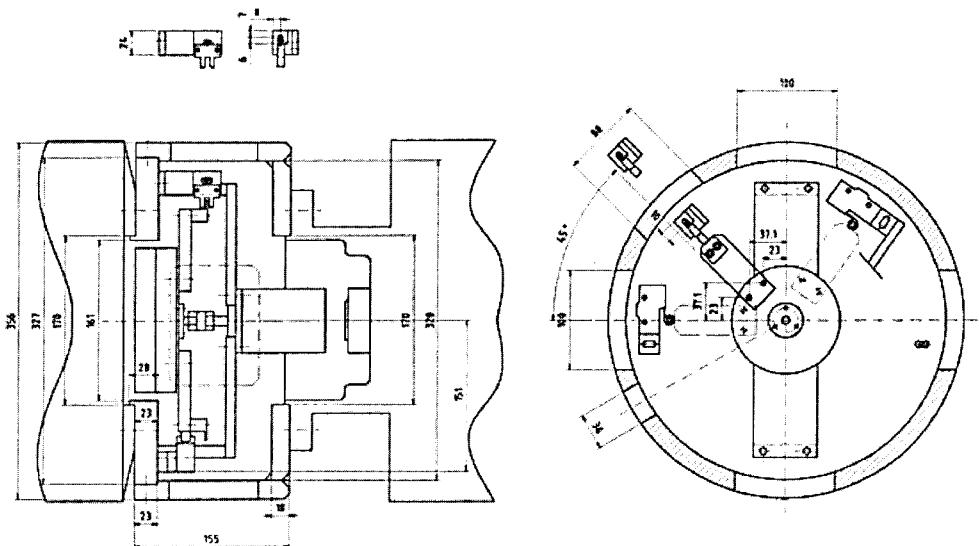


Fig. 6. Design of R.A. mechanical part.

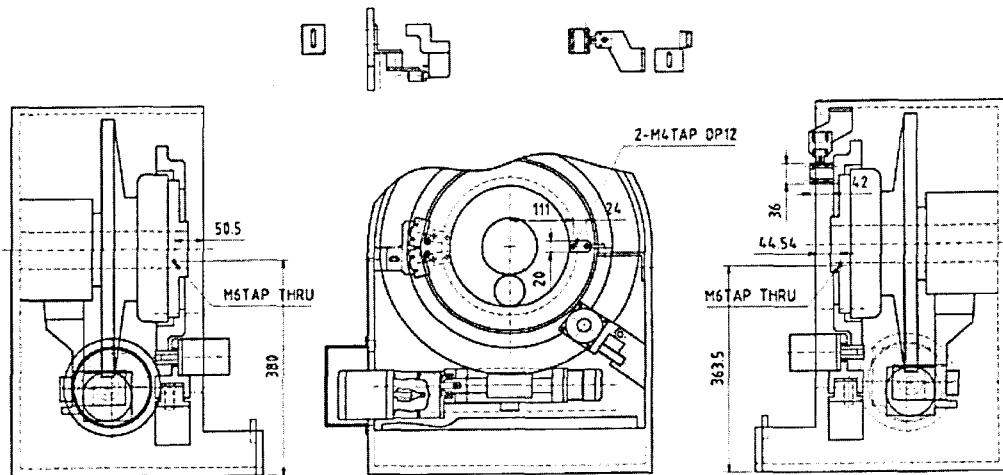


Fig. 7. Design of DEC. mechanical part.

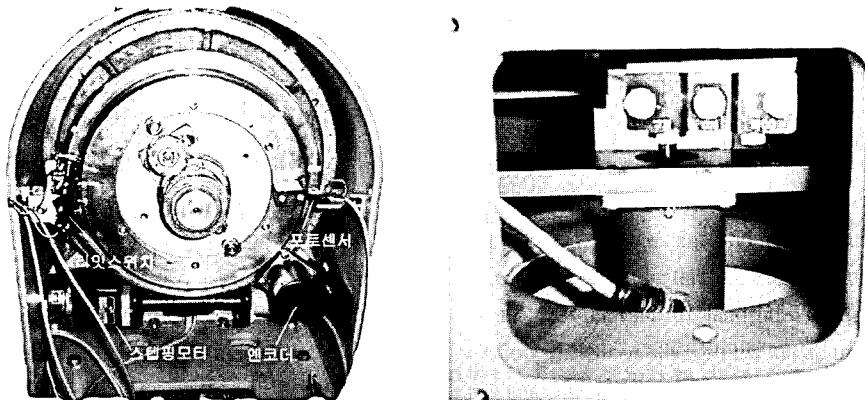


Fig. 8. Developed mechanical part (left: R.A.; right: DEC.).

Table 3. specification of stepping motor OEM 83-62-MO

item	OEM 83-62-MO
Part #	RS31B
Static torque, Nm	1.03
Rotor inertia, kg·cm ²	0.583
Current, A/pole/Arms Series	4.4/3.1
Parallel	
Inductance, mH Series	2.9
Parallel	
Dentet Touque, Nm	0.06
Bearing information	
Trust load, N	8006
Radial load, N	160
End Play, mm	
(Reversing load equal to 5N)	0.025
Radial load, mm (per 2.5N load)	0.02
Motor weight, kg	1.45

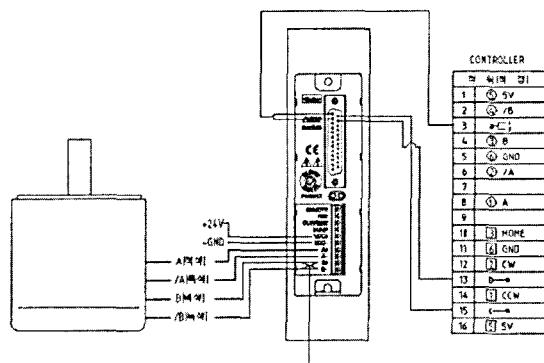


Fig. 9. Design for line connection of stepping motor.

운트 모델의 상수항(α_0 또는 β_0) 흄스위치의 초기화 위치에서 결정되기 때문에 가능한 한 높은 정밀

도를 유지하기 위함이다. 칼날이 흠에 들어오지 않을 때는 불이 켜지지 않고 칼날이 흠에 들어오면 불이 켜진다. 이러한 원리를 이용하여 망원경의 시작 위치를 알게 한다.

인코더는 망원경에게 움직이도록 명령한 곳까지 실제로 움직였는지를 확인하는 회전각도 측정장치로서 적경축과 적위축 모두에 설치되어 있다. 본 연구에서 사용한 인코더는 Computer Optical Products사의 모델 CP-850-HCE 이다. 공주대학교 GOTO 16인치 망원경 축에 인코더를 달기 어려워 디스크에 달아서 활용하였다. 인코더 펄스는 128000이므로 망원경 1회전 하게되면 192000펄스가 입력된다. 이와 같이 인코더의 전자적인 분해능은 128000 인코더펄스/한바퀴 인데 컨트롤러의 카운터에서 4제배하여 읽으므로 적경축 1회전 당 총입력 펄스는 7680000 (=128000×4×15) 인코더 펄스/한바퀴이다. 적위축의 구동방식은 적경축과 같으며 인코더 연결은 적위축에 직접 연결하였다. 그러므로 적위축 1회전당 인코더 입력 펄스는 128000이고 컨트롤러의 4제배를 고려하면 512000의 펄스로 컨트롤러가 인식해서 제어하게 된다.

리미트 스위치는 무인 관측 시스템이나 원격 관측 시스템에서 안정장치의 역할을 하는데 하드웨어적으로 그 스위치가 작동하면 모터가 멈추도록 하는 장치이다. 적경축의 리미트 스위치는 디스크 부근에 달아서 일정 각도 이상 망원경이 내려오면 모터가 멈추도록 제작하였다.

망원경의 초점은 부경을 앞뒤로 조정하면서 맞춘다. 이때 부경 조정 핸드페들을 이용할 수도 있고, 호스트 컴퓨터에서도 조정할 수 있다. 부경의 위치 조정은 앞 또는 뒤의 두가지이므로 버튼은 두 개만 있게 된다. 부경 조정 핸드페들 양쪽에는 두 개의 선이 나가게 되어있는데 하나의 선은 부경 조정 모터 쪽으로 가는 것이고 하나는 전자부 컨트롤러로 연결되도록 되어있다. 그래서 호스트 컴퓨터에서도 부경을 제어할 수 있도록 하였다.

돔과 망원경의 연동(돔의 자동화): 공주대학교 천문대 돔은 1986년에 제작한 것으로서 개폐할 때는 수동으로 하게 되어있다. 따라서 돔을 방위각 방향으로 회전시키는 모터만을 이용하였으며 콘덴서 기동형 단상 유도 모터를 활용하였다. 또 돐을 수동으로 제어할 수도 있고 자동으로 제어할 수도 있게 설계하여

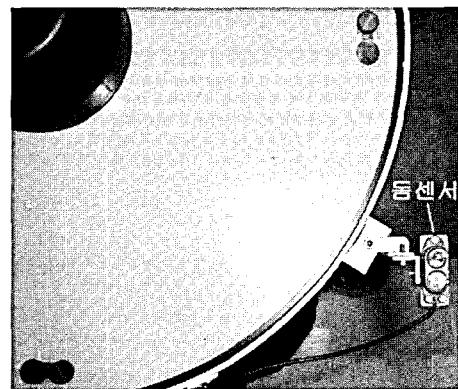


Fig. 10. Dome sensor.

제작하였다.

망원경 경통에는 센서가 붙어있는데(Fig. 10) 좌측 센서가 작동하면 컨트롤 박스의 좌측 센서에 불이 들어오고 우측 센서가 작동하면 우측 센서에 불이 들어오게 된다. 망원경이 특정한 별을 추적하면서 망원경의 경통이 이동하게 된다. 이 때 순간적으로 돐이 망원경 경통 방향을 부분적으로 가리게 된다. 망원경에 붙어있는 센서는 계속적으로 전파를 발생하는데 망원경의 경통 방향의 돐이 열려 있는 경우에는 전파가 하늘로 날라가 버려 되돌아오지 않지만 돐이 가리게 되면 돐 벽에 부딪혀 반사되어 다시 망원경 센서로 되돌아오게 된다. 이때 센서는 돐컨트롤 박스로 무선으로 신호를 보내어 돐을 돌려준다. 돐이 돌아가다가 반사되어오는 전파가 없으면 돐은 멈춘다. 즉 돐 회전은 망원경 경통의 회전량만큼만 한다. 이러한 원리로 망원경과 돐이 함께 돌아가면서 천체를 자동 관측하게 된다.

망원경의 감시: 원격제어 망원경은 호스트 컴퓨터나 원격의 개인용 컴퓨터에서 제어하기 때문에 망원경의 움직임이 매우 정확해야 한다. 이를 확인하기 위해 호스트 컴퓨터 위에 웹캠 감시 카메라를 설치하였다. 이 웹캠 카메라는 망원경의 움직임 상황을 원격에서 그대로 볼 수 있다.

공주대학교 자동화 망원경시스템 고유상수: 스텝핑 모터, 컨트롤러, 마이크로스텝 드라이버, 동력 전달장치, 인코더 등의 여러 사양을 가지고 완성한 자동화 망원경의 여러 가지 전자적, 기계적 성능을 계산으로 구할 수 있다. 이렇게 구한 성능결과는 마운트 모델링의 기

Table 4. Calculated ability of KNU remote control 16" telescope

항목	적경	적위
모터의 걸음 분해능	50.625"/펄스	50.625"/펄스
감속비율	1/1080배	1/1080배
망원경의 걸음 분해능	0.046875"/펄스	0.046875"/펄스
인코더의 자체 분해능	2.53"/인코더 펄스	2.53"/인코더 펄스
인코더 증속비율	15배	
망원경에 대한 인코더의 분해능	0.17"/인코더펄스	2.53"/인코더 펄스
Scale Term	5.926 인코더 펄스/"	0.395 인코더 펄스/"
Encoder to Step	0.277778펄스/인코더펄스	0.018516펄스/인코더펄스
망원경의 속도	0.390625"/초	0.390625"/초
망원경의 추적 주파수	320Hz	320Hz

Table 5. Calculated mount modelling parameter

항목	시간각	적위
망원경의 홈위치	0 ^h 6 ^m 36 ^s (=5940") 5.926 인코더 펄스/"	3° 18' 44" (11924") 0.395 인코더 펄스/"
a_1, b_1 (걸음폭)		
a_0, b_1 (영점)	-35200.44	-4709.98

Table 6. Mount modelling parameter using 15 stars

	para_RA	para_Dec. (unit: steps)
0 (영점)	-31437.93802	-3602.75784
1 (걸음폭)	5.69108	0.39483
2 (극축 보정: 남북)	-2121.02816	-82.32591
3 (극축 보정: 동서)	1090.46630	66.31318

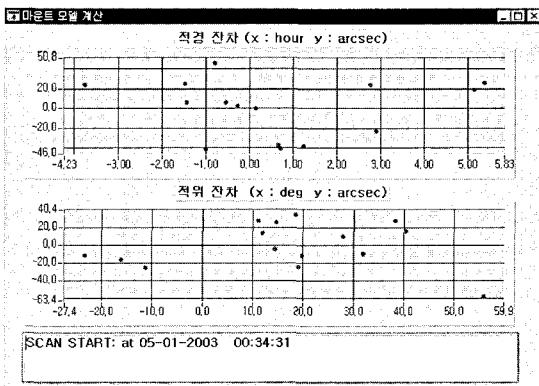
초자료가 된다. 다음 Table 4는 공주대학교 16인치 반사 망원경의 성능을 계산으로 구한 결과이다.

실험실에서 계산한 마운트 모델링 기본 파라메터: 망원경의 기본적인 파라메터를 이용하여 실험실에서 마운트 모델 파라메터들 a_0 , a_1 과 b_0 , b_1 중 값을 대략 계산할 수 있다. a_1 과 b_1 은 scale term이며 망원경 구동비 감속비를 통해 구한 값이다. a_0 과 b_0 은 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다. 즉 적경의 홈스위치가 시각각(ha)으로 대략 얼마인가를 알아보고 마운트 모델 식의 ha 대신에 0을 대입하여 $0 = a_0 + a_1 \times ha$ 에 그 값을 대입하여 a_0 을 구했다. 마찬가지로 적위의 홈 스위치를 적위로 대략 얼마인가를 알아내고 $0 = b_0 + b_1 \times Dec.$ 에 값을 대입해 b_0 을 구했다. 계산된 a_0 , b_0 , a_1 , b_1 값을 Table 5에 정리하였다.

이와 같이 계산으로 구한 마운트 모델링 계수를 초기값으로 입력하고, 몇 개의 별을 이용하여 직접 마운트 모델링을 실시하였다. 처음 마운트 모델링을 실시하여 별을 찾을 때는 그 정확도가 낮았으나 점점 많은 별을 이용하여 보다 정밀한 모델링 계수를

찾아 활용해가면서 높은 정밀도로 관측천체를 찾아주었다. 다음 Table 6은 공주대학교 천문대의 위치(위도: 127° 08' 33" .155393, 경도: 36° 28' 14" .197694, 고도: 98.486m, 망원경: 16인치 반사 자동화 망원경)에서 여러 다양한 위치를 고려한 15개의 별을 이용하여 얻어낸 마운트 모델링 결과이다. 본 망원경은 이러한 모델링 결과를 바탕으로 움직이게 된다. 보다 여러 위치에 있는 많은 별을 통해 모델링하면 보다 정교하게 관측천체를 찾게 되며 보다 안정적으로 추적을 수행하게 된다. 따라서 이러한 마운트 모델링 작업은 앞으로 계속적으로 정교하게 이루어지게 될 것이다.

망원경 제어용 프로그램: 본 연구의 시험 관측에서 활용한 프로그램은 한국천문연구원에서 개발한 4축 제어용 프로그램 Lpt_Tcs를 이용하였다. 프로그램 언어는 기기제어에 널리 이용되는 C언어를 이용했으며 컴파일러로는 National Instruments 사의 Lab Windows/CVI(version 4.01)를 이용하였다. Lab Windows/CVI는 PC를 이용한 주변 기기 제어에 필



요한 GUI 개발, H/W 제어 그리고 각종 GRAPHIC 기능 등이 매우 뛰어나다(한인우와 남옥원 1998).

시험 관측

지향 정밀도: 2003년 5월 1일에 15개의 별을 이용하여 마운트 모델링을 실시하여 마운트 모델링 계수를 얻어내었다. Fig. 11은 마운트 모델링 자료 결과를 이용하여 얻은 적경 및 적위 방향의 지향정밀도에 대한 잔차 결과를 얻었다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 지향 오차(root mean square)는 적경 방향에서는 대략 $\pm 50''$ 이고, 적위 방향에서는 약 $\pm 40''$ 정도이다. 이와 같은 결과는 비교적 지향의 정밀도가 높은 것이다. 향후 보다 많은 별을 이용한 모델링을 실시하면 보다 정교한 지향 정밀도를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

추적 정밀도: 추적의 정밀도를 확인하기 위해 가이더 망원경의 십자선 중앙에 단일별을 넣고 그 움직임을 관찰하였다. 그 결과 약 30분 정도 거의 십자선 중앙에 별이 머물러 있어서 비교적 추적이 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 사진관측으로 확인하기 위해 CCD 카메라로 M51부근의 별을 5분의 노출시간을 주어 찍어보았다(Fig. 12). 우선 맨눈으로 정성적으로 살펴본 결과 비교적 동그랗게 잘 찍혔으며 추적의 정밀도를 정량적으로 계산해본 결과 약 $1''/\text{min}$ 이었다. 이러한 결과를 보다 정밀하게 확인해보기 위하여 Fig. 12의 좌측 중간의 밝은 별에 대하여 MaxIm-DL CCD 분석 소프트웨어 (<http://www.cyanogen.com/>)로 빛의 분포를 얻어보았



Fig. 12. Star image around M51 after exposure 10min.

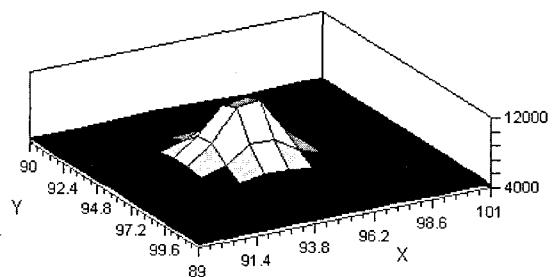


Fig. 13. Light area distribution for left star of Fig. 12.

다. 그 결과 Fig. 13을 얻었다. 별빛의 분포가 그 밝기에 따라 순서적으로 분포하여 추적의 정밀도가 비교적 양호함을 확인할 수 있었다. 향후 망원경의 극축과 수평을 보다 정교하게 잘 맞추고, 보다 많은 별을 이용하여 마운트 모델링을 실시하면 보다 정교한 추적의 정밀도를 얻을 수 있을 것이다.

고 찰

본 연구에서 개발한 자동화 망원경 시스템은 관측 할 천체를 빠른 시간내에 정확히 찾을 수 있고 정교하게 추적할 수 있다. 또 원격지에서 인터넷으로 접근하여 제어하면서 관측할 수 있기 때문에 관측 결과를 실시간으로 원격지에서도 얻을 수 있다. 본 시스템의 장점은 인코더 시스템과 홈스위치 시스템이 있기 때문에 관측할 천체를 정확히 찾았는지 확인할 수 있다. 개인용 컴퓨터로 망원경을 제어할 수 있는 미국의 Meade사의 LX 200 포크식 적도의(<http://www.meade.com/>)나 일본의 다카하시사의 EM200 적도의 (<http://www.cloudynights.com/mounts2/em200>

2.htm)의 개인용 컴퓨터 컨트롤 시스템은 인코더 및 흄스위치 등의 시스템이 없어서 특정별을 정확히 찾았는지를 원격에서 확인할 수 없다. 따라서 이러한 외국 시스템들은 원격관측이 어렵다.

최근 국내외적으로 원격 정밀관측 자동화 시스템을 수행할 수 있는 망원경 자동화 시스템을 개발하여 네트워크로 서로 연결하여 여러 관측자들이 여러 장소에서 다양한 천체를 관측할 수 있도록 하는 시도가 이루어지고 있는 점은 정보화시대에 걸맞는 시도라고 판단된다. 따라서 향후에 국내 다른 관측소와 각급 학교에 보유하고 있는 소형망원경에도 자동화 시스템을 구축할 수 있는 부품이 개발·보급되어 보다 경제적이고 효율적인 관측이 수행되어야 할 것이다.

한편 천체 망원경이 비싼 관계로 구입할 수 없어서 현장의 초·중·고·대학교 학생들이 천체관측을 하고 싶어하면서도 이론 중심의 천문학 영역의 수업을 하고 있는 점을 감안하면 원격천체 관측 시스템은 매우 의미 있게 학교 교육과정을 실현하는데도 도움이 될 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 수동으로 운영해오던 16인치 반사망원경 시스템을 개선하여 자동화 시스템으로 개발하였다. 이 시스템은 망원경을 직접 제어하는 호스트 컴퓨터나 원격지의 개인용 컴퓨터로 제어하면서 관측을 수행할 수 있는 원격자동화 시스템이다. 따라서 앞으로는 어떤 장소에서라도 인터넷을 통하여 본 천문대에 접근하면 정확하고 편리하게 관측할 수 있게 되었다.

2. 개발된 원격제어 망원경 시스템은 비교적 천체의 지향 정밀도 및 추적 정밀도가 높은 편이다. 따라서 이러한 시스템을 현장의 소형망원경에 적용하면 천문 교육에 매우 의미있게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 본 연구에서 개발한 망원경 자동화 시스템은 어떤 장소에서라도 관측이 가능하다. 또 본 망원경을 많은 사람들이 활용할 수 있어 그 활용도도 높일 수 있게 되었다.

4. 여러 대학 및 연구소에서 개발한 자동화망원경들을 네트워킹하여 묶으면 보다 효과적인 천체관측의 연구와 교육에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구 과제

국내외 원격제어 망원경들과의 네트워크 구축

본 천문대의 망원경과 국내외의 여러 원격제어용 망원경들과 유기적으로 연결하여 보다 효율적인 원격 천체 관측 시스템을 구축하고자 한다.

원격 관측 홈페이지 구축

현재는 호스트 컴퓨터에 접근해야만 망원경을 제어할 수 있다. 그런데 원격자동화 천체관측 홈페이지를 구축하여 이 홈페이지상에서 특정 천체의 적경과 적위 등을 직접 입력하여 실시간으로 원격천체 관측할 수 있는 프로그램을 개발하고자 한다.

무인 자동화 관측

쌍성관측에서 변광성과 비교성을 반복적으로 관측하게 하는 프로그램, 성단관측에서 목적성과 표준성을 순서에 따라 관측할 수 있는 프로그램, 초신성 탐색 프로그램, 소행성 탐색 프로그램 등을 개발하여 무인 자동화 관측을 실현하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 연구비 지원(KRF-2001-005-B22004)에 의해 수행되었다. 관계자께 감사드린다. 그리고 본 논문을 친절하고 세심하게 심사해주신 권석민 회원과 설명을 밝히지 않은 나머지 두 분께도 감사드린다.

참고문헌

- 김진수, 1998, 전기공학의 기초, 동일출판사, 20 p.
 김혁, 1999, '한국교원대학교 청람 천문대 16인치 망원경의 관측시스템 개선', 석사 학위 논문, 28 p.
 박병곤, 육인수, 한인우, 김승리, 천무영, 성현철, 1998, 'WWW를 이용한 원격 관측 시스템', 천문학논총 13권 1호, 75-84.
 조영우, 1997, '서울대학교 천문대 41cm 반사망원경의 구동 및 제어 시스템 개발', 석사학위 논문, 12 p.
 한인우, 천무영, 박병곤, 육인수, 김승리, 최일, 성현철, 1997, '초고속통신망을 이용한 원격관측시스템 개발', 정보통신부 연구보고서, 1-71.
 한인우, 남옥원, 1998, '중소형 망원경 제어 시스템 MSTS 개발', 천문학 논총 13권 1호, 85-98.
 Adelman, S., Dukes, R., and Adelman, C., 1992, 'Automated Telescopes for Photometry and Imaging', Astro-

nomical Society of the Pacific Conference Series
Volume 28, 67-71.
Genet, R., 1982, Microcomputers in Astronomy, Fairborn

Observatory, 14 p.
Trueblood, M., and Genet, R., 1985, Microcomputer Control of Telescope, Willmann-Bel, Inc., 10 p.

2003년 5월 20일 원고 접수
2003년 7월 4일 수정원고 접수
2003년 7월 25일 원고 채택