

서울대학교 천문대 16 인치 망원경의 추적 성능 향상을 위한
제어 소프트웨어의 개발¹
DEVELOPMENT OF CONTROL SOFTWARES FOR IMPROVEMENT OF
TRACKING EFFICIENCY OF THE 16" TELESCOPE OF
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY OBSERVATORY

정웅섭, 이상각, 박수종
서울대학교 천문학과

WOONGSEOB JEONG, SANG-GAK LEE, AND SOOJONG PAK
Received Aug. 20, 1999; Accepted Sept. 21, 1999

ABSTRACT

We have improved the control and driving system of 16" reflector at Kwanak Observatory at Seoul National University, by completing encoder unit, and by developing programs for correction of errors resulting from hardware defects. The hardware defects of this telescope system are the large backlash and the nonuniform tracking and pointing. The telescope pointing accuracy for RA is improved to a few arc minutes, and that for DEC is several tens of arc minutes. The guiding error is improved to 0.7 arcsec/minute, allowing up to 3 minutes exposure for CCD imaging under typical seeing conditions at the Observatory.

Keywords : control of telescope, driving of telescope, tracking efficiency, pointing accuracy

1. 서론

서울대학교 관악 천문대의 16인치 망원경은 일본 Nishimura Factory 제작으로 1969년경 도입된 적위대식 수동 조절 망원경이다. 이 망원경은 그동안 기계 부분과 기어 부분에 대한 수리가 여러 차례 있었으며, 최근 컴퓨터에 의한 자동화를 위한 연구(조영우 1997)가 시도되었으나, 아직도 시스템이 실제 관측을 수행하기에는 많이 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 기존 망원경의 하드웨어를 바탕으로 하여 하드웨어를 최적화 시키고 새롭게 추적 성능을 향상시킬 수 있는 제어 소프트웨어를 개발하여 실제 관측을 수행할 수 있는 상태로 만드는 것을 목적으로 하였다.

그림 1은 16인치 망원경 구동을 위한 전체적인 시스템의 구성도를 요약해 놓은 그림이다. 컴퓨터(PC)의 구성은 망원경의 하드웨어 구동과 컴퓨터를 연결하는 인터페이스 카드, 인터페이스 카드를 다루기 위한 구동 프로그램으로 이루어져 있다. 하드웨어의 구성은 모터를 구동하기 위한 하드웨어 드라이버², 모터, 그리고 인코더³로 이루어져 있다.

¹본 논문은 교육부 기초 과학 육성 연구비의 지원으로 쓰여졌습니다(NO. BSRI-98-5411)

²Intelligent Motion System, Inc., IM1007-NR 마이크로스텝 구동기

³BEI사, H25 광학 회전형 증분 인코더

제어 소프트웨어는 모든 모터 동작의 제어가 이루어지는 제어 커널, 펄스를 발생하기 위한 회로를 제어하기 위한 부분인 i8253 / i8254-2 유닛, 명령을 분배하는 역할을 수행하는 i8255A 유닛, 인코더에서 신호를 읽어내는 역할을 수행하기 위한 부분인 LS7166⁴ 유닛들로 이루어진다.

16인치 망원경의 기존 시스템이 갖고 있는 문제점들은 다음과 같다.

첫째, 적경과 적위 방향으로 각각 1.2 각분 (시간각으로 약 5초), 적위의 경우 0.4도 정도의 기어놀음을 갖고 있다. 특히 적위 방향의 큰 기어놀음은 망원경의 지향에 큰 문제를 야기한다. 이러한 기어놀음은 별을 지향하는데 있어 계속 누적되는 오차를 발생하게 되는데 이러한 누적 오차를 소프트웨어적인 보정으로 그 오차를 줄이려 한다.

둘째, 기어 자체가 정밀하지 못하여 별의 추적에 상당한 오차를 유발한다. 이러한 기어에 의한 오차는 기어를 다시 제작해야 오차를 줄일 수 있다. 그러므로 모터 기어의 움직임의 정확도를 높임으로써 기본적으로 발생하는 추적 오차를 줄이려고 한다.

셋째, 인코더의 위치가 그림 2와 같이 폴리에 물려있기 때문에 실제 웹 기어의 움직임을 정확하게 측정하지 못한다. 이는 기어 위치를 변화시켜야 해결할 수 있는 문제이므로 본 연구에서는 다루지 않을 것이다.

넷째, 인코더의 회로만 존재하고 실제 칩에 대한 테스트가

⁴US Digital사, 24-bit Up/Down Counter

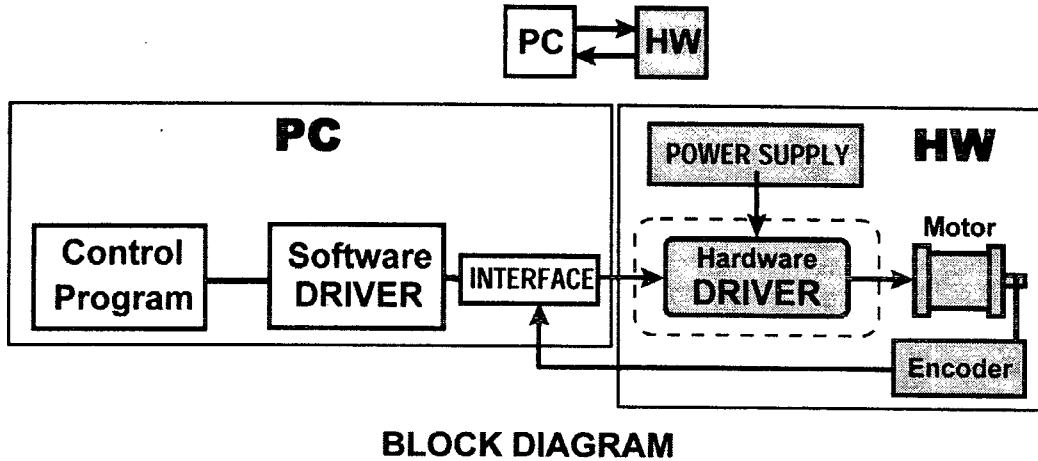


그림 1.— 전체 시스템 구성도

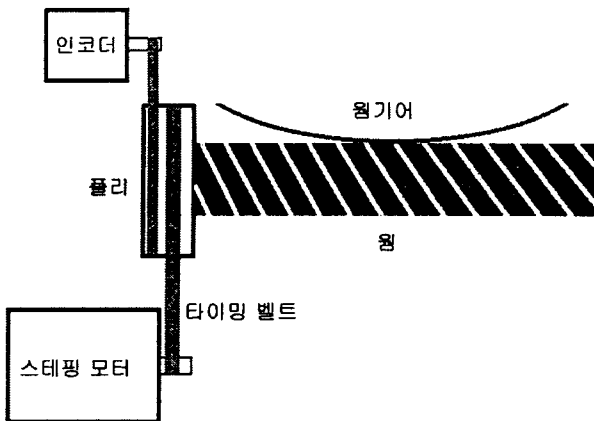


그림 2.— 기어의 구조 (조영우 1997)

제대로 이루어지지 못해 소프트웨어에서도 제대로 제어가 이루어지지 않는다. 그래서 실제 칩에 대한 테스트를 하여 인코더가 갖는 한계치를 규명하였고, 이에 맞는 제어루틴을 만들고자 한다.

다섯째, 기존의 망원경 구동 소프트웨어가 기본적인 제어만이 가능하고 모든 기능을 완전히 수행하지 못한다. 이전의 구동 소프트웨어에 한계가 있어 새롭게 구동 소프트웨어를 다시 제작하였다. 그래서 실제 망원경 구동 소프트웨어가 가져야 하는 기본적인 기능들을 수행할 수 있게 하려고 한다.

여섯째, 실제 관측에 이용하기 위한 하드웨어적인 마무리가 되지 않았다. 실제 관측자가 쉽게 하드웨어를 동작할 수 있어야 하는데 그러한 것에 대한 마무리가 이루어지지 않았다. 그래서 쉽게 하드웨어를 동작할 수 있도록 여러 콘넥터들을 보완하고, 오 동작에 대비한 스위치와 높은 동작 전압으로 인해 발생할 수 있는 안전성의 문제에 대한 안전

장치를 만들려고 한다.

따라서 이번 연구에서는 16인치 망원경의 위와 같은 문제점들을 개선하고 기능을 향상시키는 것에 중점을 두었다.

2. 하드웨어 부분

구동 소프트웨어를 만들기 위해서 구성된 하드웨어의 기본 동작 테스트를 수행하였다. 망원경의 움직임을 정확히 읽기 위한 24-bit 인코더인 LS7166 회로의 시험 동작에 중점을 두었다.

그림 3은 인코더와 인코더 칩인 LS7166과의 연결과 칩에 각각의 역할에 대한 흐름도이다. 이 인코더 칩을 제어하기 위해서는 여러 가지 내장된 레지스터를 이용하여 제어한다. 다음 표 1은 각 레지스터의 역할을 설명하고 있다.

위의 하드웨어 사양에 따라 구동 드라이버를 제작하였다. 이 드라이버를 이용하여 칩이 가지고 있는 다양한 기능을 이용할 수 있다.

인코더를 이용하여 위치를 정확하게 측정하는 것은 망원경과 같이 정밀한 제어가 요구되는 경우 매우 중요하다. 또한 이를 이용하여 단순히 한 방향의 제어가 아닌 양방향의 피드백 제어가 가능하다. 양방향의 피드백 제어라는 것은 계산에 의해 정밀한 신호를 주었을 때 다른 요인에 의해 오차가 발생할 경우, 그러한 오차를 읽어 다음 신호를 줄 때 그만큼의 보정을 계속 해줄 수 있는 제어 구조를 말하는 것이다.

망원경을 정밀하게 구동하기 위해서는 망원경의 구동요소, 적경과 적위축의 구동틀 인자, 인코더의 한계 주파수, 회로 구성의 한계, 최대 조동 (Slew)속도 등의 계산이 필요하다. 표 2는 계산한 여러 요소들을 정리한 것이다. 이 기본 요소들을 이용하여 망원경의 구동에 필요한 속도 요소들을 계산하였다.

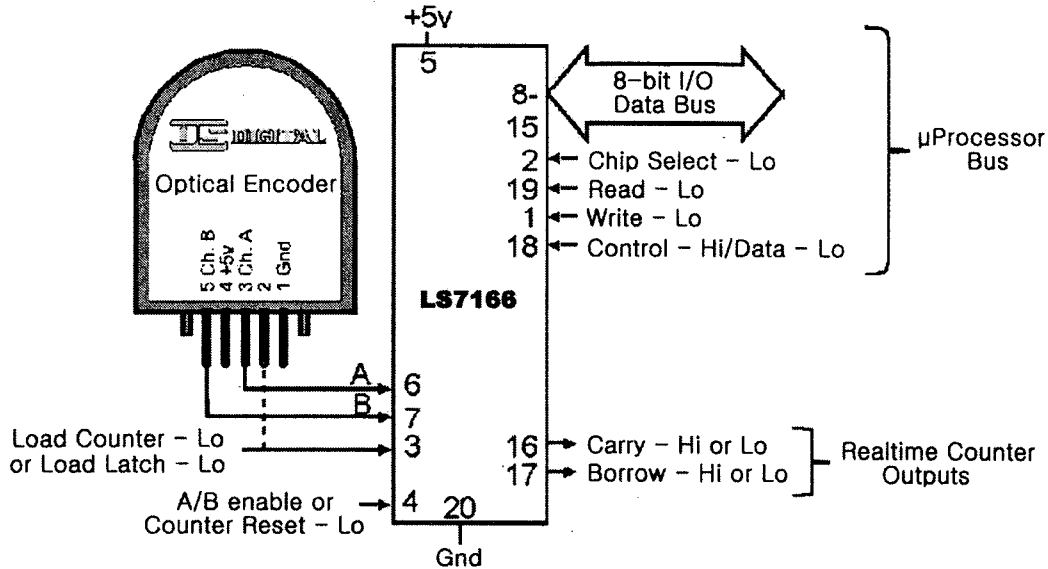


그림 3.— 인코더 칩인 LS7166과 신호 흐름도

표 1.— 인코더 칩의 각 레지스터들의 역할

레지스터 이름	역할
Preset Register	24-bit 계수기에 대한 입력 포트
Master Control Register	각 레지스터들을 초기화하고 작동 명령을 받음.
Input Control Register	이 칩의 작동 모드를 정의
Output Control Register	24-bit 계수기를 초기화하고 작동 모드를 지정해 줌.
Quadrature Control Register	×1, ×2, ×4 등의 모드를 선택
Counter Output Latch	어느 순간에 24-bit 계수기의 값을 전송해 줄 수 있게 함.
Status Register	현재의 칩의 상태에 대한 값을 출력

조동 속도는 한계 주파수 개념에서 얻었다. 시스템의 기어비를 생각하면 가장 많은 주파수를 필요로 하는 부분은 바로 인코더이다. 따라서 최대 조동 속도는 인코더의 한계 주파수에 따라 달라질 수 있다. 그러나 실제로 칩의 사양에 따라 계산한 최대 조동 속도로 움직일 경우 인코더로 값을 읽을 수는 없다. 그 이유는 바로 인코더의 회로 구성에 한계가 있기 때문이다. 따라서 이러한 한계를 고려하여 최대 조동 속도를 계산하였다. 인코더가 5 rps 이하에서 최대 속도가 결정되어야 하므로 이 경우 적경은 최대 0.83 도/초로, 적위는 최대 1.67 도/초로 최대 조동 속도가 결정되었다. 망원경이 너무 빠른 조동 속도로 움직이면 매우 위험하며 빠른 움직임은 기어와 모터의 수명을 크게 단축한다. 또한 정확한 인코더 신호를 읽어내는 것도 중요하다. 그러므로 조동 속도는 망원경에 따라 적절하게 조절해 주는 것이 필요하다. 따라서 본 소프트웨어에서는 적경의 경우

0.6 도/초, 적위의 경우 1.0 도/초로 조동 속도를 적정 값으로 결정하였다.

비록 망원경 구동에 관한 하드웨어가 정밀하게 구성되었다 하여도 16인치 망원경은 상당히 큰 기어놀음과 정밀하지 못한 기어, 등 하드웨어적인 한계를 가지고 있다.

3. 소프트웨어 부분

3.1. 소프트웨어 구성

개발 언어는 사용자 환경이 충실히 고려되고 동작상의 편이성이 높은 윈도우용 언어인 비주얼 베이직⁵을 선택하였다. 기본 소프트웨어는 다음과 같이 구성되어 있다. 망원경을 위한 이동루틴, 키보드를 이용한 이동, 추적 보정, 기어놀음의 보정을 위한 이동 등이 포함되어 메인 부분, 인코더에서 나오는 펄스를 세는 인코더 칩을 위한 드라이버의

표 2.— 적경 축과 적위축의 구동틀의 인자

종류	위치	
	적 경	적 위
웜 기어의 조동 속도	0.6 도/초	1 도/초
모터의 마이크로스텝 분해능	50000	50000
웜 폴리의 이 수	60 개	30 개
모터 폴리의 이 수	50 개	40 개
인코더 폴리의 이 수	10 개	10 개
웜-웜 바퀴의 기어 감속비	360	404
모터 폴리-웜 폴리의 기어 감속비	1.20	0.75
모터 폴리-인코더 폴리의 기어 감속비	1/6	1/3
모터의 기본 스텝각	25.92 각초	25.92 각초
웜의 기본 스텝각	21.60 각초	34.56 각초
인코더의 기본 스텝각	155.52 각초	77.76 각초
인코더에 반영된 고유 스텝각	102.0472 각초	102.0472 각초
모터의 한 스텝에 해당하는 인코더의 회전수	1.270 rps	1.016 rps
조동에서의 인코더의 출력 주파수	54864 Hz	32004 Hz
조동에서의 모터의 구동 주파수	36000 Hz	42000 Hz
웜 바퀴의 기본 스텝각(적경 축의 고유 스텝각)	0.0600 각초	0.0855 각초

제어를 위한 LS7166 모듈, 명령 분배를 처리하기 위한 드 라이버 제어를 위한 i8255 모듈로 이루어져 있다.

3.2. 지향과 추적 루틴

망원경의 위치를 계산하기 위해 적경 방향의 경우는 추적하는 경우를 고려해야 한다. 추적이 작동하지 않을 경우 좌표는 시간에 따라 계속 변하게 된다. 따라서 적경의 경우는 시간각을 이용하였다. 인코더의 값을 시간각과 일치 시키므로 인코더가 움직임에 따라 시간각이 변화하도록 하였다. 시간각, H는 지방 표준시 (Local Standard Time : LST)와 적경 α 와 다음과 같은 관계가 있다.

$$H = LST - \alpha$$

주어진 지방 표준시 (LST)때에 적경, 적위를 알고 있는 별에 대해 지향을 시켜놓고 H 값을 초기화한다. 따라서 망원경이 이동함에 따라, 적경은

$$\alpha = LST - H$$

가 된다. 즉, 망원경을 이동시키면 H가 변화하므로 그때의 적경이 계산된다.

적위의 경우 추적이 필요 없으므로 단순히 인코더 값의 변화를 적위 좌표 값에 대응시켜 좌표를 구하였다. 사용자의 편의를 위해 키보드로 망원경을 움직일 수 있게 하였

다. 망원경의 움직임은 슬루 모드 (Slew Mode), 세트 모드 (Set Mode), 가이드 모드 (Guide Mode)로 동작한다.

관측은 관측 대상 천체의 좌표가 입력되면, 망원경이 정확하게 원하는 관측 대상 천체로 지향하는 것이 필요하다. 또한 현 위치에서 다음 관측 대상 천체로 이동을 할 때, 최소의 시간과 최소의 거리로 이동하여 대상 천체로 지향하는 것이 필요하다. 적절한 판단 루틴을 이용하여 적경과 적위 모터를 동시에 이동을 시키는 방법으로 이동시간을 최소화하였다. 이동 속도는 총 4단계로 정하였다. 긴 거리를 갈 때에는 슬루 (Slew) 모드로, 일반적인 움직임은 세트 (Set) 모드로, 짧은 거리는 가이드 (Guide) 모드로, 마지막 으로 정확한 위치에서 멈출 때는 조절 (Calibration) 모드로 움직인다. 만일 한 좌표에서 다른 좌표로 이동할 때 적경만을 이동시킬때 걸리는 시간을 t_{RA} , 적위만을 이동시킬 때 걸리는 시간을 t_{DEC} , 단순한 이동 루틴에서 걸리는 총 이동시간을 T, 최적화된 루틴에서 걸리는 시간을 T_{Best} 라고 한다면,

$$T = t_{RA} + t_{DEC}$$

$$T_{Best} = \begin{cases} t_{RA} & (t_{RA} > t_{DEC} \text{ 일때}) \\ t_{DEC} & (t_{DEC} > t_{RA} \text{ 일때}) \end{cases}$$

가 될 것이다. 즉, 최적화된 루틴에서는 두 방향의 이동시간 중 긴 이동시간이 바로 총 이동시간이 될 것이다.

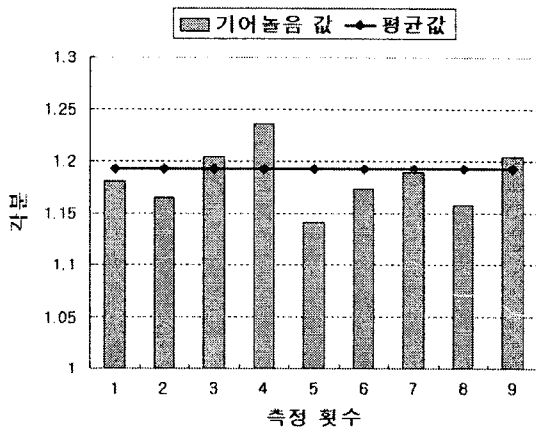


그림 4.— 적경 방향의 기어놀이음

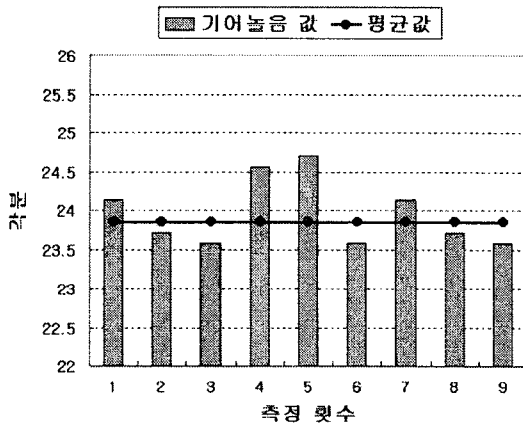


그림 5.— 적위 방향의 기어놀이음

3.3. 기어놀이음 보정 루틴

앞 단원의 하드웨어 부분에서 설명하였듯이 16인치 망원경의 기어놀이음은 상당히 큰 것으로 발견되었다. 적경, 적위 각 방향의 기어놀이음의 값이 일정하지는 않으나 그림 4, 5에서 보듯이 각방향의 평균값에 대한 편차가 적으므로 소프트웨어적으로 어느 정도는 보정이 가능하였다. 적경 방향의 경우 평균 기어놀이음은 1.19 ± 0.05 각분으로 비교적 적으나, 적위 방향의 경우는 23.9 ± 0.9 각분으로 상당히 크게 나타나고 있다. 기어 놀음의 보정은 일단 기어놀이음의 보정을 시작하는 방향으로 망원경이 움직이는 경우에는 이동방향으로 계속 이동을 하여 기어놀이음 보정이 완전히 끝나는 위치까지 움직임을 줄 수 있도록 해야 할 것이다. 그리고 기어놀이음을 보정하는 동안 마지막의 움직임은 상당히 천천히 움직이게 하여 기어가 팍 물릴 수 있도록 해야 한다. 이러한 기어놀이음의 보정에서는 인코더의 값을 읽는 루틴에서 기어놀이음 보정이 있을 경우 보정이 끝날 때까지 좌표 값을 계산하지 않고 그 값이 갱신되지 않도록 하였다. 하지만 움직임은 이러한 보정 루틴에 따라 연속적으로 이

동해야 한다. 망원경이 상당히 빠르게 움직일 경우 때로는 기어놀이음 값 이상으로 움직이게 된다. 따라서 보정 루틴에서 기어놀이음 값 이상의 움직임을 인식하게 되면 그 방향으로 좌표 값을 인식하도록 하였다.

3.4. 닫힌 루프 구조 보정 루틴

망원경으로 별을 추적하기 위해서는 일정한 펄스로 모터를 구동시켜 별을 일정한 속도 (1초당 15각초)로 쫓아가도록 해야 한다. 하지만 아주 정밀하게 만든 기어라 할지라도 어느 정도의 오차를 내포하고 있다. 따라서 오차에 따라 별의 추적 속도를 조금씩 변화시키는 것이 필요하다. 앞에서 설명하였듯이 웹 바퀴의 움직임을 정확하게 측정하는 것은 불가능하기 때문에 모터로 매우 정밀하게 속도를 주어 일정하게 움직이는 것에 중점을 주었다.

별의 추적은 적경 방향의 움직임만으로 이루어진다. 적경 방향의 계산은

$$\alpha = LST - H$$

으로 주어지므로 별 추적 속도를 주지 않으면 시간이 지남에 따라 좌표 값이 커지게 될 것이다. 만일 추적속도 값을 실제 추적 속도보다 크게 주었다면 좌표 값은 점점 작아질 것이고 추적속도의 값을 작게 주었다면 좌표 값은 점점 커질 것이다. 그러므로 추적속도를 변경하면서, 적경 값의 변화를 측정해 보았다. 이러한 변화는 짧은 시간동안 변하는 양이기 때문에 실제 추적오차에는 크게 영향을 주지 않는다. 그러나 실제 영향을 주는 것은 긴 시간동안에 점차적으로 변하는 양이다. 짧은 단위 시간의 데이터로부터 점차적으로 변화를 예측한다는 것은 매우 어려운 일이므로 장기간 동안에 데이터의 경향성을 보기 위해서는 일정 기간 동안에 데이터에 대한 평균값에서 추세를 보았다. 망원경은 기어에 따라, 위치에 따라 추적 성능이 달라지기 때문에 일정한 추적 속도 값을 줄 경우라도, 정밀하게 별을 추적하지 못한다. 그림 6은 추적속도 펄스의 값을 258로 주었을 때 0.1초 단위로 100개의 데이터를 평균한 값의 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 데이터의 값이 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 망원경의 속도가 적절한 추적 속도보다 빠를 때 나타나는 현상이다.

그림 7은 추적속도 펄스의 값을 257로 주었을 경우로, 전반적으로 데이터의 값이 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 망원경의 속도가 정확한 추적 속도보다 느릴 때 나타나는 현상이다. 펄스 값으로 주는 추적 속도는 소수점 이하로는 줄 수 없기 때문에 정확한 망원경의 추적 속도는 두 속도 (257 ~ 258) 사이에 있음을 알 수 있다.

그러므로 두 속도를 기울기의 비에 따라 번갈아 가며 주면 정확하게 추적하고자하는 위치를 유지하는 것이 가능하다. 이처럼 0.1초 데이터를 100개정도 얻어 10초 동안에 경향성을 보고 다음 속도를 결정하는 방식의 닫힌 루프 구조의 제어는 더욱더 정밀한 보정을 위해 필요한 것이다. 경

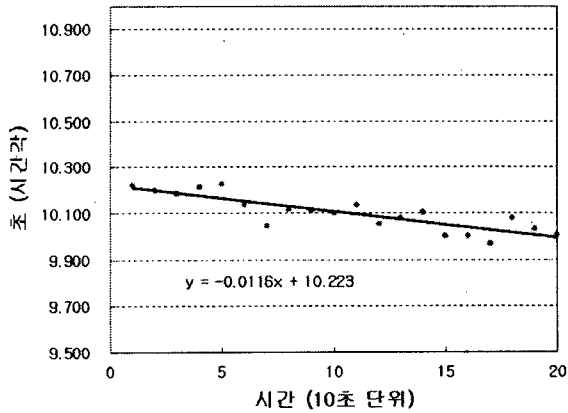


그림 6.— 10초 단위의 시간에 따른 좌표 변화(속도:258)

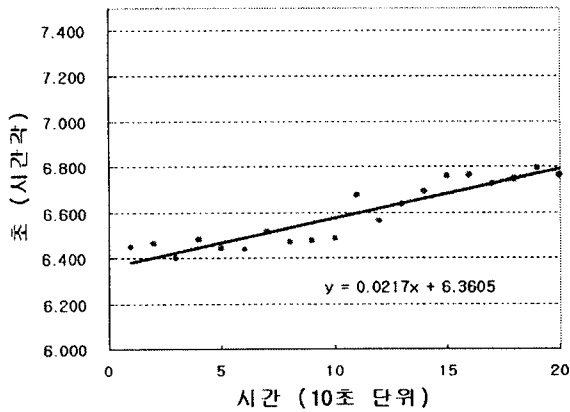


그림 7.— 10초 단위의 시간에 따른 좌표 변화(속도:257)

향성을 보는 시간 간격이 너무 짧으면 경향성이 나타나지 않으므로, 경향성을 보기위한 적절한 시간 간격을 결정해서 보정을 해야 한다. 본 연구에서는 16인치 망원경의 경우 10초 정도가 경향성을 보아 추적 속도를 보정하는 시간 간격으로 적절하다고 판단되었다.

그림 8은 피드백의 닫힌 루프 구조의 제어를 이용하여 얻은 결과이다. 그림에서 보듯이 상당히 오랜 시간 동안에도 아주 정밀한 값을 얻을 수 있었다. 즉, 장시간이 지남에도 일정한 좌표값을 잘 유지한다. 위의 결과는 10초 동안의 경향성을 보고 전 보다 속도가 느리면 속도를 증가시키고 빠르면 감소시키는 방식으로 얻은 것이다.

3.5. 그 외의 보정 루틴

별의 좌표를 정확하게 얻기 위해서는 표 3과 같이 별의 여러 가지 운동에 대한 것들을 보정해 주어야 한다.

서울대학교 천문학과 16인치 망원경은 지향오차가 비교적 크기 때문에 제어 시스템의 보정 루틴에 표 3의 여러 다

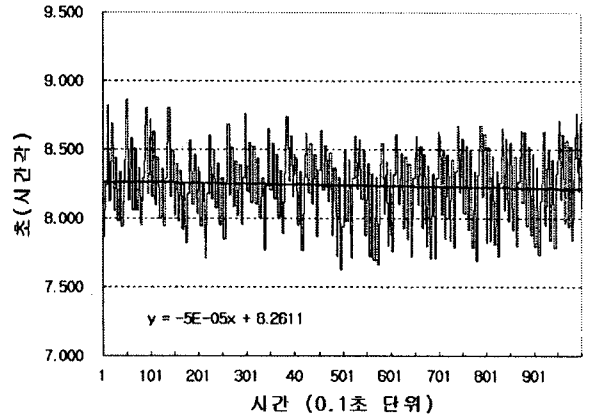


그림 8.— 10초 단위의 보정 루틴에 의한 0.1초 단위의 좌표 변화

른 정밀한 보정들은 제외하고 세차운동과 대기의 굴절에 대한 보정만을 포함시켰다.

소프트웨어를 통해 망원경이 가지고 있는 하드웨어적인 단점 (기어놀음, 기어의 부정확성 등)을 보완하는 루틴을 만들었고, 기본적인 추적 성능을 향상시켰으며, 망원경으로 좀더 관측을 쉽게 할 수 하였다.

4. 결과

망원경의 성능을 평가하기 위해 하늘의 여러 부분에 대하여 관측을 수행하였다. 관측시 16인치 망원경에 부착한 검출기는 CCD800(768 × 512)⁶이다. 16인치 망원경의 F 값은 이 망원경으로 얻은 이미지로부터 계산하여 초점비가 F/14로 추정하였으며(Brocato의 1998) 건판 척도는 36.26 각초/mm를 얻었다. 따라서 CCD800의 전체 시야는 250.6각초×167.1각초 (4.18분×2.78분)이다.

4.1. 지향 정밀도

지향 정밀도 측정을 위해 하늘의 모든 지역에 대하여 망원경을 고르게 움직여 보았다. 앞에서 언급한 것처럼 망원경의 기어놀음이 상당히 크기 때문에 정확하게 관측 대상 별로 지향하는 것이 매우 어려웠다. 그러나 위치에 관계없이 관측하려는 천체가 파인더 내에 들어왔다. 파인더의 시야는 약 50분 정도며, 관측은 방향에 관계없이 망원경을 상당히 많이 이동시켜도 찾으려는 별이 파인더 내에 들어왔다.

망원경의 지향 정밀도는 위치에 따라 다소 차이를 보이며 망원경이 현재 어떠한 기어에 물려있는가에 따라서도 차이를 보인다. 따라서 지향 오차 측정을 통해서 기어 놀음에 대한 보정을 하고, 이동 루틴을 사용하여 망원경을 이동하는 경우는 마지막의 움직임을 천천히 주어 완전히 기

⁶ISI Systems, KAF 0400 768×512 array

표 3.— 여러 보정 루틴의 종류

종류	발생 요인	값의 크기
고유운동 세차운동 장동(Nutation) 광행차 굴절	태양에 상대적인 공간상의 별의 운동 지구 지축의 회전축이 변함 19년을 주기로 달의 궤도에 의한 섭동 지구가 태양 주위로 회전함 대기의 굴절 때문에 별이 실제 위치보다 더 높게 보임	수초 / 1년, 한 세기 10년당 수분 최대 9.23 초 최대 20.48초 최대 12분

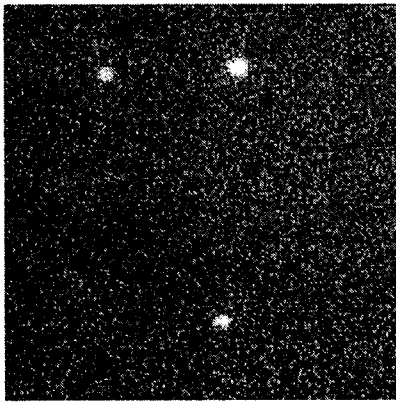


그림 9a.— 추적속도만으로 60초 노출시

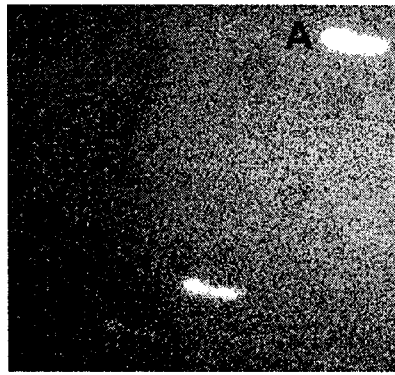


그림 9b.— 60초 노출시 흐른 모습

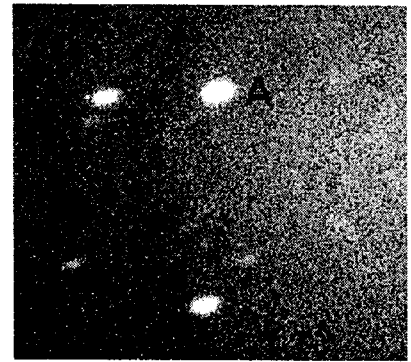


그림 9c.— 60초 노출시 약간 흐른 모습

어를 물리개 함으로써 오차를 최소한으로 줄이도록 하였다.

적경 방향으로서는 위치에 관계없이 지향 오차가 최대로 수 분 정도가 되었으나 적위 방향으로서는 이동이 많고 적음과 관계없이 지향 오차가 무작위로 측정되며, 최대 수십 분 정도까지 되었다.

4.2. 추적 성능

별의 추적 성능은 보정 루틴을 쓰지 않고 일정한 값의 추적 속도 값을 주어 관측을 하였을 때와 보정 루틴을 사용했을 때 상당히 큰 차이를 보였다. 보정 루틴을 쓰지 않은 일반적인 관측의 경우 60초 내외가 한계 노출이었다. 그러나 보정 루틴을 사용하게 되면 최대 180초의 노출까지 별의 흐름이 없이 관측되는 경우들이 나타났다.

그림 9a, 9b, 9c의 경우는 모두 보정 루틴을 사용하지 않고 관측한 결과다. 그림에서 보듯이 같은 60초 노출시간을 준 경우지만 경우에 따라 상의 질이 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이처럼 같은 노출 시간을 주더라도 그림 9b과 같이 때에 따라 많이 흐른 상을 보게 되는 것은 기어가 정밀하지 못하여 기어의 미끌어짐에 의해 생긴 결과라고 추론된다. 그림 9b에 A 별의 경우 흘러간 픽셀의 값은 16 픽셀 정도가 된다. 1 픽셀당 0.6526 각초이므로, 10.44 각초가 된다. 그림 9c의 A 별의 경우는 등 윤곽선에서 장축과 단축의 크기 차이에서 흐른 양을 약 7 픽셀로 측



그림 10a.— 보정루틴 사용시 60초 노출

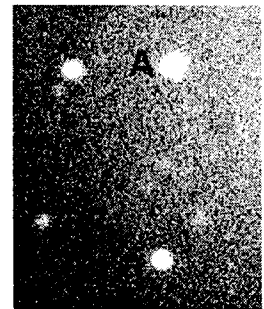


그림 10b.— 보정루틴 사용시 60초 노출

정하였다. 이는 2.28 각초/30초의 흐름이다.

다음은 보정 루틴을 사용하여 관측한 60초 노출의 이미지들 (그림 10a, 10b)이다. 흘러간 양을 측정해 보면 A 별은 그림 10a의 경우 3.5픽셀, 그림 10b의 경우 1 픽셀 정도가 흘렀다. 이는 각각 2.28 각초, 0.65 각초가 된다. 전반적으로 보정 루틴을 사용하여 상의 흐름이 향상되었음을 알 수 있다. 또한 보정 루틴을 사용할 경우 추적오차를 줄일 수 있고 현재의 좌표에 오랜 시간동안 지향이 가능하다.

다음 그림 12a, 12b 상은 각각 180초 노출의 보정 루틴을 사용했을 경우와, 사용하지 않은 경우의 결과다. 보정 루틴을 사용하여 얻어진 상은 흐르는 경향이 보이지 않는다 (그림 13의 등 윤곽도 참조). 이는 보정 루틴에 의해 좌

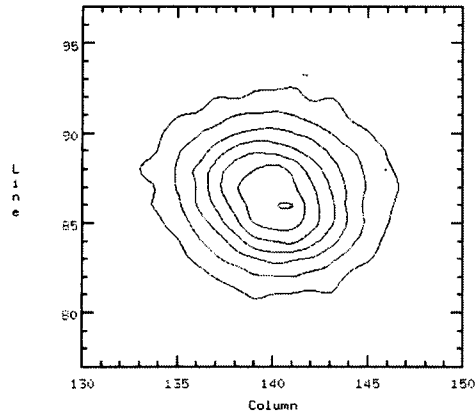


그림 11.— 그림 10b 60초 노출 이미지의 A 별에 대한 등 윤곽도 (0.65각초/픽셀)

표가 정확한 위치 근처에서 계속 보정되어 상은 흐르게 나타나지 않는다. 실제 이미지의 질은 그림 13에서 보여주듯이 상당히 넓은 반극치폭(FWHM)을 보인다. 이는 정확한 위치 근처에서 왔다갔다하며 보정되기 때문에 상대적으로 이미지의 흐름은 없어지나 반 극치폭을 상당히 넓게 만드는 것이다.

그림 12b는 같은 노출에서 보정 루틴을 사용하지 않을 경우 이미지가 계속 흘러간 것을 보여준다. 그림 12c는 보정 루틴을 사용한 600초 노출의 관측 결과로 별이 흘러가다가 갑자기 튀는 현상이 나타나 있다. 이는 그림 9b에서 설명한 망원경의 기어가 정밀하지 못해 갑자기 튀는 것으로 추정된다.

보정 루틴을 사용할 경우 시상이 좋은 환경에서는 노출 시간을 늘림에 따라 반 극치폭 (FWHM - Full Width Half Maximum)의 값이 커지므로 시상이 나쁜 상을 얻게 되어 시상에서 손해를 보게 될 것이다. 그러나 시상이 좋지 않은 환경에서는 반 극치폭에 큰 영향을 주지 않으며, 장기 노출이 가능하므로 보정 루틴을 사용하는 것이 이득이 된다. 그림 12a의 180초 노출의 경우는 비교적 추적이 잘 되는 위치에서의 관측이었다. 그러나 이 결과가 연속적인 노출에서 항상 얻을 수 있었던 것은 아니다. 이는 기어 문제로 추정되는 것으로 10번 노출에서 2 번의 빈도로 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

다음 그림 14는 10초 노출의 구상 성단 M5 관측 결과이다. 구상 성단 M5는 별을 추적하기가 상당히 힘든 위치에 있으며 보정 루틴을 사용하지 않은 때, 상이 많이 흔들렸기 때문에 M5 관측 결과는 모두 보정 루틴을 사용한 결과들만 분석하였다.

최소 보정 시간이 10초이므로 그림 14의 이미지는 보정 루틴을 사용하지 않았을 때의 이미지와 같으며, 별이 거의 흐르지 않은 모습 (그림 16a의 등 윤곽도 참조)을 보였다.

그림 15는 80초 노출의 상이다. 그림 16b는 그림 15의

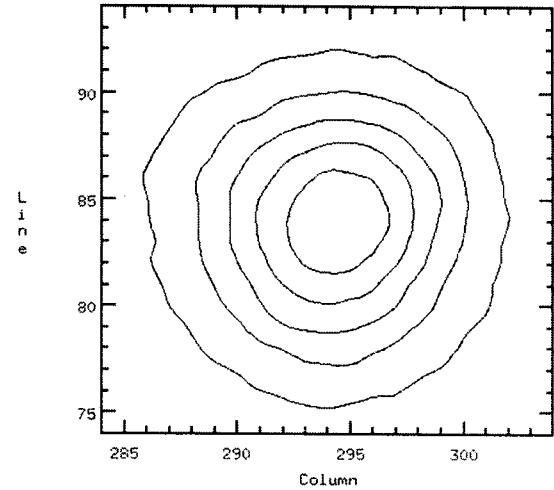


그림 13.— 그림 12a의 별에 대한 등 윤곽도(0.65각초/픽셀)

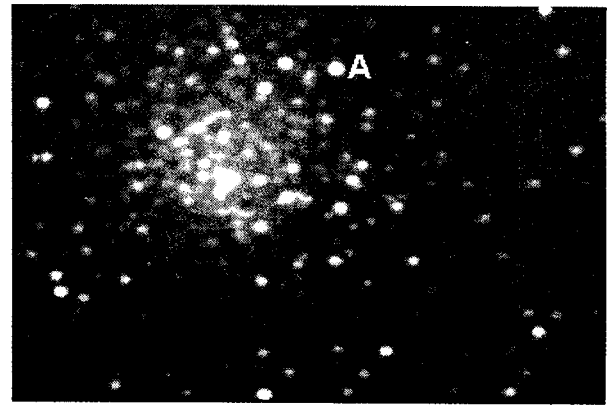


그림 14.— 노출을 10초 주었을 때 (M5)

A 별에 대한 등 윤곽도이다. 그림 16b에서 측정된 흐름 양은 4.8 픽셀 정도가 된다. 이 값을 각도로 환산하면 그 흐름율은 3.12 각초/80초가 된다.

각각의 이미지에 대한 반 극치폭은 10초 노출의 경우는 4.89, 80초 노출은 5.15가 되었다. 한픽셀에 대한 시야는 0.6526초이고 각각의 경우 시상은 3.19, 3.36 초가 된다. 이는 관악산 천문대의 시상이 일반적으로 나쁘기 때문에 보정 루틴에 의해, 반 극치폭이 크게 변동되지 않았음을 의미한다. 따라서, 관악산 천문대에서는 시상에 큰 손해 없이 보정 루틴을 사용하여 노출을 길게 하여 사용할 수 있음을 의미한다. 하지만 비록 작은 경향이지만, 노출 시간이 길수록 시상이 커진 것을 알 수 있다. 이는 시상이 좋은 경우에 더 크게 작용할 것으로 예상된다.

이와 같이 상의 흐름은 천체의 위치에 따라 서로 달라졌다. 일반적으로 별의 추적 보정 루틴을 켜 주고 관측을 하게 되면 보정 루틴을 사용하지 않은 경우보다는 비교적 좋은 상을 얻을 수 있었다. 보정 루틴을 쓰지 않고 관측을 할

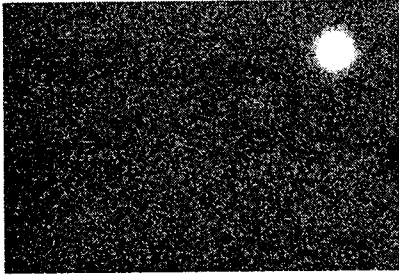


그림 12a.— 노출을 180초 주었을때

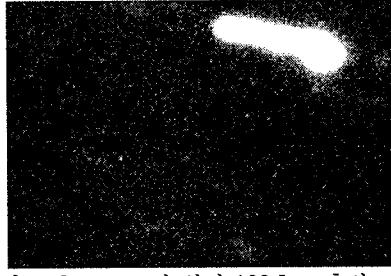


그림 12b.— 보정 없이 180초 노출의 경우

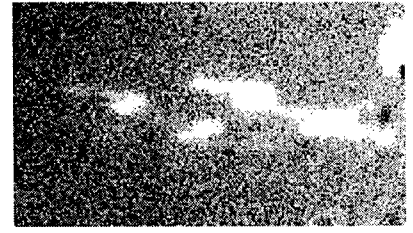


그림 12c.— 보정 루틴을 사용하여 600초 노출한 경우

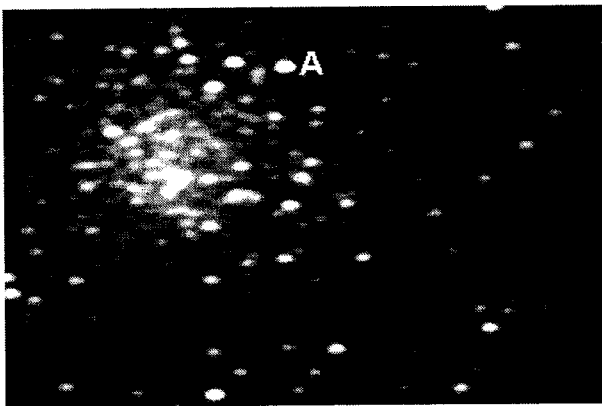


그림 15.— 노출을 80초 주었을때 (M5)

경우는 위치에 따라, 상황에 따라 추적 성능의 차이가 더 컸다. 따라서 별의 오차 보정에도 한계가 생기게 된다.

결론적으로 천문학과 16인치 망원경과 CCD800을 사용하고 보정 루틴을 사용할 경우 최대 180초 노출까지 가능하다고 보며 (단, 여러 번의 노출에서 얻어진다.), 관악산 천문대에 평균적인 시상이 나쁘기 때문에 보정 루틴을 사용하여도 시상에 큰 손해는 없을 것으로 기대된다.

4.3. 추후 보완점

많은 소프트웨어적인 보정에 의해 실제 망원경의 성능이 여러 부분에서 향상되었으나 다음과 같은 추후 보완해야 할 점들이 발견되었다.

첫째로 기어 문제이다. 관측에 있어 가장 중요한 사항은 망원경의 추적 성능이다. 16인치 망원경은 기어가 정밀하지 못하여 중간 중간 기어의 미끌어짐이 발생한다. 이는 오랫동안 사용으로 기어가 노화되었음을 의미한다. 또한 적위 방향의 기어에는 기어놀음이 매우 크다. 그러므로 기어 부분을 다시 제작한다면 16인치 망원경은 좀더 안정된 성능을 보일 것으로 판단된다.

둘째로 앞에서 설명하였듯이 기어가 정밀하지 못하므로 전 방향에 대해 추적성능은 고르지 못하다. 그러나 전 방향에 대한 관측을 통해 각 방향의 경향성에 대한 자료를 얻을 수 있는 있을 것이다. 이러한 자료들을 데이터베이스에 넣어 보

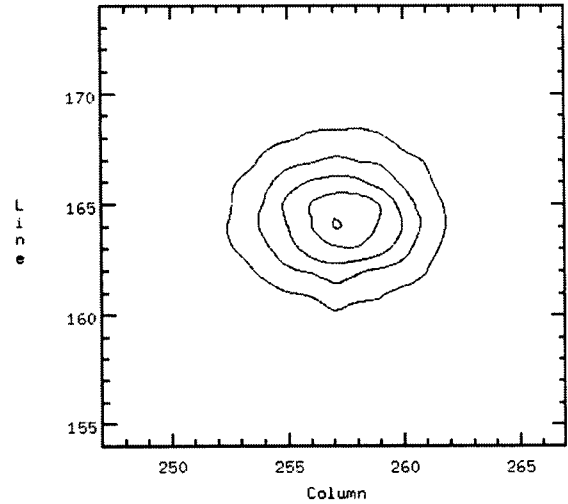


그림 16a.— 그림 14: M5 10초 노출 이미지의 A 별에 대한 등 윤곽도 (0.65각초/픽셀)

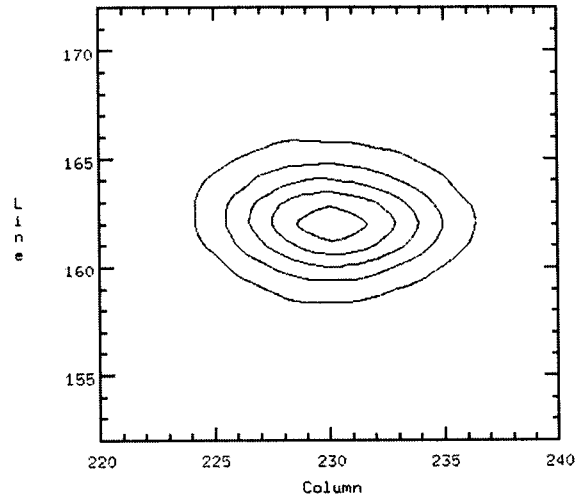


그림 16b.— 그림 15: M5 80초 노출 이미지의 A 별에 대한 등 윤곽도 (0.65각초/픽셀)

정하면 관측을 좀더 수월하게 수행할 수 있을 것이다.

셋째로 현재 데이터베이스에 수록되어 있는 별의 목록은 단순히 별에 대한 좌표만을 포함하고 있다. 그러나 전 하늘에 대한 이미지 데이터를 수록하여 이미지와 비교를 해 가며 관측을 수행한다면 별을 좀더 쉽게 찾을 수 있을 것이다.

넷째로 인코더의 위치 수정이다. 현재 위치의 인코더에서는 정확한 워 바퀴의 움직임을 읽어낼 수 없다. 그러므로 인코더의 위치를 워 바퀴의 움직임을 읽어낼 수 있는 방향으로 이동하는 것이 필요하다. 그러면 매우 정확한 지향 정밀도를 얻을 수 있을 것이다. 물론 이 경우도 기어를 다시 제작하지 않는 한 별의 추적오차의 한계는 극복할 수 없다.

* 본 연구 내용에서 개발된 프로그램의 소스코드에 대한 사항은 저자에게 문의하기 바랍니다.

이전 16인치 망원경의 기본 틀을 잡아놓으신 조영우 선배와 이명균 선생님께 감사를 드립니다. 그리고 시험 관측 및 소프트웨어 부분을 도와준 이대회에게 고마움을 전합니다.

참고문헌

- 조영우, 1997, 석사논문, 서울대학교
 주경민, 박성완, 김민호 공저, 1998, Visual Basic Programming Bible, 영진 출판사
 BEI H25 Optical Encoder Datasheet
 BROCATO, E., CASTELLANI, V., and RIPEPI, V.,
 Bright stars in the galactic globular M5, *Astronomical Journal* Vol. 101, no. 4
 Intel i8255 Datasheet
 Intel i82C54 Datasheet
 Intel i8254 Datasheet
 Intel i8254-2 Datasheet
 Intelligent Motion Inc. M2-3450 Stepping Motor & Driver Application Note
 Nassau, *Practical Astronomy*, 1948, McGraw-Hill Book Company
 Peter Duffett-Smith, *Practical Astronomy With Your Calculator*, 1992, Cambridge
 US Digital LS7166 Datasheet, Application Note, Technical Guide