

경희대학교 천문대 30인치 주망원경 TCS 소프트웨어 개발 DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR 30INCH TELESCOPE CONTROL SYSTEM AT KHAO

문병식, 김상준, 장민환, 민상웅, 설경환, 문기석
경희천문대, 경희대학교 우주과학과

B.-S. MUN, S.-J. KIM, M. JANG, S.-W. MIN, K.-H. SEOL, K.-S. MOON

Kyung Hee Astronomy Observatory, Kyung Hee University, Yongin, Kyunggi-Do, 449-701, KOREA

E-mail: astronomer@khu.ac.kr

(Received November 17, 2006; Accepted December 19, 2006)

ABSTRACT

Even though 30inch optical telescope at Kyung Hee Astronomy Observatory has been used to produce a series of scientific achievements since its first light in 1992, numerous difficulties in operating of the telescope have hindered the precise observations needed for further researches. Since the currently used PC-TCS(Personal Computer based Telescope Control System) software based on ISA-bus type is outdated, it doesn't have a user friendly interface and make it impossible to scale. Also accumulated errors which are generated by discordance from input and output signals into a motion controller required new control system. Thus we have improved the telescope control system by updating software and modifying mechanical parts. We applied a new BLDC(brushless DC) servo motor system to the mechanical parts of the telescope and developed a control software using Visual Basic6.0. As a result, we could achieve a high accuracy in controlling of the telescope and use the user friendly GUI(Graphic User Interface).

Keywords: telescope control system, software, BLDC servo

1. 서론

1992년 도입되어 운용중인 경희대학교 천문대 30인치 주망원경은 5상 교류 스텝핑 모터(5-phase AC stepping motor)로 제어되는 반사망원경으로 현재까지 활동은하핵(AGN), 변광성 및 행성의 분광 연구 등을 위한 목적으로 사용되어 많은 관측 실적을 남겨왔다. 그 동안 자체적인 준비를 통해 꾸준한 관측환경에 대한 개선을 해왔지만, 망원경을 제어하는 제어 프로그램(Telescope Control System ; TCS)의 경우 1988년 미국 Comsoft사에서 제작된 PC-TCS version6.2를 사용하고 있으며, 이 소프트웨어는 마이크로소프트사의 DOS 운영체제에서만 사용이 가능하고 ISA 방식의 모션컨트롤러(Motion Controller)만 호환이 되기 때문에 현재 16bit ISA BUS용 CIO-CTR10 Digital I/O and Counter/Timer 보드가 장착된 80486 시스템을 TCS용 PC로 사용하고 있다. 따라서 사용자 인터페이스가 매우 불편하고 시스템 시간 및 입/출력 신호의 정확한 동기화가 이루어지지 않기 때문에 관측 시에는 시간이 지남에 따라 이러한 오차가 누적되어 주기적으로 Pointing 작업을 통한 초기화 작업을 해주어야 한다. 그림 1은 그 동안 사용해왔던 PC-TCS 6.2의 인터페이스를 보

여준다. GUI 기반이 아닌 DOS 환

경의 Txet 입력 방식으로 사용자 인터페이스가 떨어지고, 특히 시간 입력 및 좌표신호 발생의 경우 Real-Time이 아니므로 오차가 발생한다.

또한 현재 사용하고 있는 구동부의 모터는 일본 VEXTA사의 스텝핑 모터로 펄스 진폭 변조(Pulse Amplitude Modulation ; PAM)방식을 사용하고 있기 때문에 위치 및 속도의 동시 제어가 불가능하고 전력 효율이 낮으며 모터 자체에는 엔코더가 내장되어 있지 않으며 제어 정밀도가 0.36 %/pulse 로 다소 떨어진다. 또한 최대 정지토크(Maximum Holding Torque)가 1.66 Nm로 다른 부가관측 장비의 장착 시에는 모터의 탈조현상이 자주 발생하였다.

따라서 위치 및 속도의 동시 제어가 가능하고 엔코더의 정밀도가 향상된 일본 Mitsubishi사의 200W 급의 BLDC(Brushless DC) 서보 모터(MR-J2)를 도입하고 그에 맞는 새로운 망원경 제어용 소프트웨어를 제작하여 제어부 및 구동부의 응답 특성이 빠르고 능동적인 피드백이 가능한 시스템을 제작하였다.

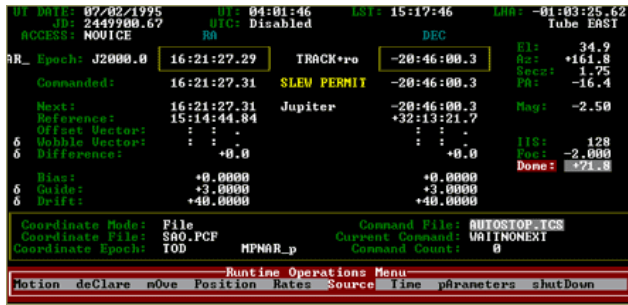


그림 1. 경희대학교 주망원경의 PC-TCS version 6.2

2. 소프트웨어 제작

2.1 기본 정보 입력 및 처리

소프트웨어는 전체적인 GUI(Graphic User Interface)와 기본적인 좌표계의 계산은 마이크로소프트사의 Windows를 기반으로 한 시스템 환경에서 사용이 편리한 Visual Basic 6.0을 이용하였고, 모션컨트롤러 및 모터 구동부의 함수는 C++로 제작된 DLL(Dynamic Link Library) 모듈을 Visual Basic에서 호출하여 적용하는 방법을 사용했다. GUI 또한 크게 두 가지 부분으로 나누어 제작하였다. 하나는 OS로부터 시간 정보를 동기화하여 기본 좌표요소를 얻어낸 후 천체의 적도 좌표(R.A. - Dec.) 및 지평 좌표(Alt. - Azi.) 정보를 생성해내는 영역이고, 이를 이용하여 좌표 정보를 엔코더 신호로 변환해 모터 드라이브에 변위량을 전달하는 영역이다.

그림 2는 비주얼베이직을 이용해 새로 제작한 경희대학교 천문대 주망원경의 제어용 소프트웨어의 실행 모습이다. 그림 하단의 ①은 OS로부터 시간 정보를 동기화하여 UT 등의 기본 시간 정보를 얻어낸 후 천체의 적도 좌표(R.A. - Dec.) 및 지평 좌표(Alt. - Azi.) 정보를 생성해내는 영역과 이를 이용하여 좌표 정보를 엔코더 신호로 변환해 모터 드라이브에 변위량을 전달하는 영역이다. 시간 정보는 마이크로소프트사의 time.windows 서버를 통해 대한민국 표준시간 및 Universal Time(UT)로 동기화되며 이를 바탕으로 지방항성시(LAST ; Local Apparent Side-real Time)와 Julian Date(JD) 정보를 생성한다. 동시에 관측 대상의 위치 정보인 적경과 적위를 입력하면(J.2000 기준) 자동으로 엔코더 입력정보로 변환되어 모터 구동의 변위량이 계산되게 된다. 변위량을 계산 할 때는 지향정밀도를 향상시키기 위해 다음과 같이 기존의 TCS에는 적용하지 않았던 세차운동과 장동을 관측시간과 망원경 위치변화에 따른 실시간 계산으로 추가되어 보정할 수 있도록 했다.(Meeus, J. 1985, 1988)

1. 세차운동 보정

$$\Delta\alpha = m + n \sin\alpha \tan\delta$$

$$\Delta\delta = n \cos\alpha$$

$$m = 3^{\circ}.07496 + 0^{\circ}.00186 T$$

$$n = 1^{\circ}.33621 - 0^{\circ}.00057 T$$

$$T = \frac{JD - 2451545.0}{36525}$$

2. 장동

$$\Delta\psi = -17^{\circ}.20\sin\Omega - 1^{\circ}.32\sin 2L - 0^{\circ}.23\sin 2L' + 0^{\circ}.21\sin 2\Omega$$

$$\Delta\epsilon = +9^{\circ}.20\cos\Omega - 0^{\circ}.57\cos 2L - 0^{\circ}.10\cos 2L' + 0^{\circ}.09\cos 2\Omega$$

$$\Omega = 125.04452 - 1934.136261 T + 0.0020708 T^2 + T^3/450000$$

$$L = 280^{\circ}.4665 + 36000^{\circ}.7698 T$$

$$L' = 218^{\circ}.3165 + 481267^{\circ}.8813 T$$

이렇게 계산된 변위량은 모션컨트롤러에 의해 펄스신호로 변환되어 모터드라이브로 직접 입력되며 망원경의 이동 및 추적 시에는 펄스 발생 상태가 화면 상단에 그 래프로 표시되어 실제 모터 구동여부를 알 수 있게 된다. 또한 적도의식 가대의 제어뿐만 아니라 좌표계 함수와 펄스신호 발생 함수의 간단한 변경만으로도 쉽게 경위대식 가대에 적용할 수 있도록 제작하였다.

그림 2 상단의 ②는 ①부분에서 계산된 변위량을 토대로 실제로 모션컨트롤러에 구동 신호 명령을 생성하여 모터 드라이브에 전달하는 부분과 각종 입출력 단자의 선택 및 경고 메시지가 생기는 부분이다.

2.2 구동 신호의 생성

모션컨트롤러는 국내 벤처기업인 AJINEXTEK에서 제공한 2축 제어용 PCI 32bit SMC-2V01을 사용했다. 기존에 사용된 CTR-10 모션컨트롤러는 지정 IRQ만을 사용하는 반면, SMC-2V01모션컨트롤러 보드는 PnP(plug and play) 기능이 내장되어 있어 I/O와 메모리 영역을 자동으로 빈 영역에 할당하여 확장성이 좋은 장점이 있다. 그림 3은 SMC-2V01 모션컨트롤러의 동작 다이어그램이다. 이 모션컨트롤러는 펄스폭 변조 방식(Pulse Width Modulation : PWM)과 비례-적분-미분 제어(PID ; Proportional, Integral, Differential) 방식을 함께 사용한다. 보통 정밀도가 높은 고속 이동의 제어가 필요할 때 이 두 가지 제어 방식을 함께 사용하며 BLDC 서보 모터의 경우 드라이브 자체에서 PID 제어 신호가 발생되므로 모션컨트롤러에서는 펄스 신호만이 발생된다. 기존의 5상 교류 스테핑 모터는 단순히 전위차를 발생시켜 펄스폭은 유지한 채로 펄스의 진폭의 변화를 유도해 회전을 제어하는 펄스 진폭 변조(PAM ; Pulse Amplitude Modulation)를 사용하므로 발

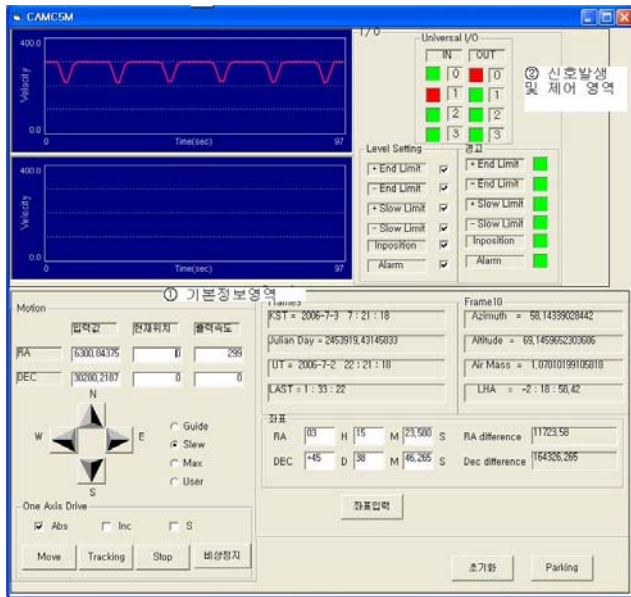


그림 2. 새로 제작한 경희대학교 주망원경 TCS의 GUI
 ① 좌표 및 시간 등의 기본 정보를 보여주는 부분 ② 신호의 입출력 및 제어를 담당하는 부분

열량이 많고 전력 효율이 떨어지며 잡음 삽입 시에는 출력에 그대로 나타나기 때문에 회전 오차가 발생하는 단점이 있다. 반면 PWM 제어 방식은 Pulse의 DutyRatio (듀티비)로 전압 혹은 전류의 양을 컨트롤함으로써 부드러운 움직임의 제어와, 제어과정에서의 불필요한 전력 낭비와 발열을 막을 수 있는 고급 제어방식이다.(Ajnextek 2002)

기존의 스테핑 모터 제어시 사용되던 기계식 외부 핸드컨트롤러의 경우 모터드라이브를 거친 후 TCS에 신호가 입력된 후 재차 신호가 발생되어 출력시키는 방식을 사용했기 때문에 구형 80486 PC시스템을 사용한 기존의 TCS에서는 컨트롤러의 조작 시에 약 2초의 시간차가 발생했고 이동 속도는 Normal 과 Slew 두 가지 밖에는 선택할 수 없었기 때문에 외장 컨트롤러의 조작에 의해서는 정확한 위치로의 이동이 불가능했다. 이런 부분을 보완하기 위해 외부 컨트롤러를 제거하는 동시에 모션컨트롤러의 포지션 오버라이드(position override) 함수를 이용하여 프로그램 상에 컨트롤러 버튼 부분을 추가해 이를 클릭 시에는 TCS 상에서 곧바로 모터드라이브로 추가 펄스 신호가 전달되므로 조작할 때 시간차가 발생하지 않으며 정확한 변위차를 표시할 수 있고, 또한 속도 제어용 옵션 버튼을 이용해 여러 속도를 미리 프로그램 되어 사용자가 원하는 속도를 선택할 수 있도록 했다.

그림 4는 PC에 장착된 모션컨트롤러와 중간 단자대와의 결선도이며 그림 5는 다시 단자대에서 나가는 배선과 모

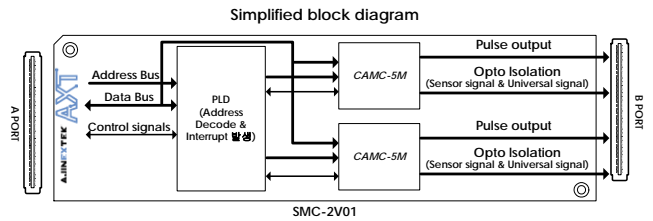


그림 3. SMC-2V01 모듈 보드의 동작 다이어그램

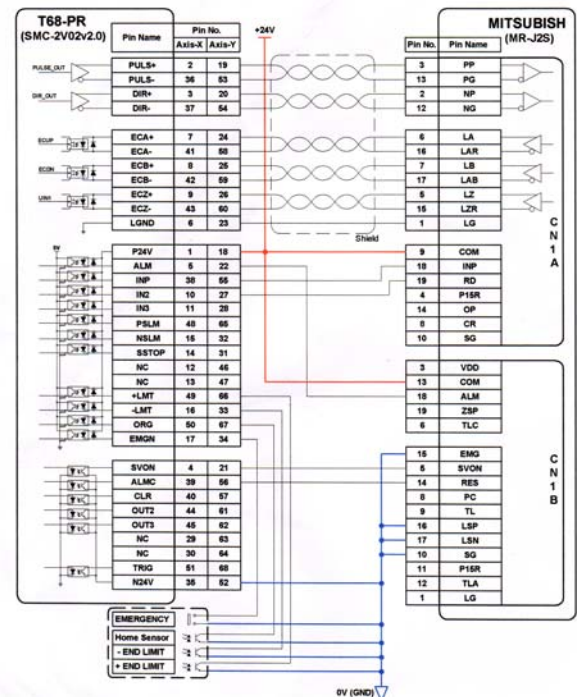


그림 4. 모션컨트롤러와 증폭단자대의 결선도

터드라이브 및 엔코더와 연결되는 결선도이다. 일반적으로 사용되는 서보 시스템의 경우 제어 정밀도를 위해 배선이 5미터를 넘지 않지만 경희천문대 주망원경의 경우 적경, 적위축에 각각 5m, 7m의 케이블이 사용되어 펄스 신호 전달시 지연현상이 발생할 가능성이 제기되어 중간에 펄스신호를 증폭해주는 단자대를 설치하여 이를 해결하였다. 기존에 사용한 5상 교류 스테핑모터의 경우 엔코더가 없기 때문에 5가닥의 전선으로만 연결되었지만 새로 적용한 BLDC 서보 시스템에서는 정밀제어를 위해 그림과 같이 매우 복잡한 결선을 보이게 된다.(Mitsubishi Electric 2002)

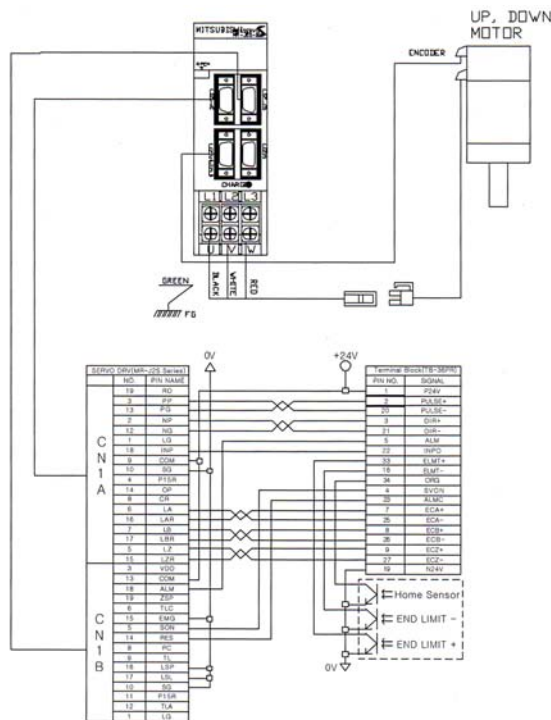


그림 5. 증폭단자대와 모터드라이브 및 엔코더의 결선도

2. 구동부 설계 및 제작

구동부는 기존에 사용했던 테플론 체인의 문제점을 보완한 타이밍 풀리와 벨트를 적용하여 설계하였다. 그림 6은 기존의 5상 교류 스텝핑 모터와 테플론 체인을 사용한 구동부이다. 테플론 체인의 경우 노후화로 인해 늘어지며 끊어지는 현상이 자주 발생하여 체인과 구동력을 전달받는 기어 사이에 유격이 발생하여 실제 구동시 유격만큼의 오차가 발생하게 되었고, 테플론 체인이 한국공업규격이 아니기 때문에 교체용 체인을 구하기 어려운 문제점이 발생하였다. 따라서 기존의 스텝핑 모터를 BLDC 서보 모터로 교체하기 위해 모터 하우징을 새로 제작하는 동시에 한국 공업규격에 맞는 타이밍 풀리와 타이밍 벨트를 이용하여 설계했다. 최대 구동 속도가 3000rpm인 Mitsubishi사의 MR-J2 BLDC 서보 모터는 고속 구동일수록 제어 안정도가 높은 시스템이기 때문에 기존의 구동부보다 기어비를 높이기 위해 적경, 적위 양측에 중간 구동축을 추가하여 기어비를 두 배로 높게 설계하여 제작하였다.

그림 7은 적경, 적위 축의 2D 설계도면이다. AutoCAD를 이용하여 1차로 2D 도면을 만든 후 그림 8과 같이 Pro-Engineer를 이용하여 3D 모델링을 적용하여 설계의 적합성을 판단한 후 실제 기계 가공작업을 하였다.

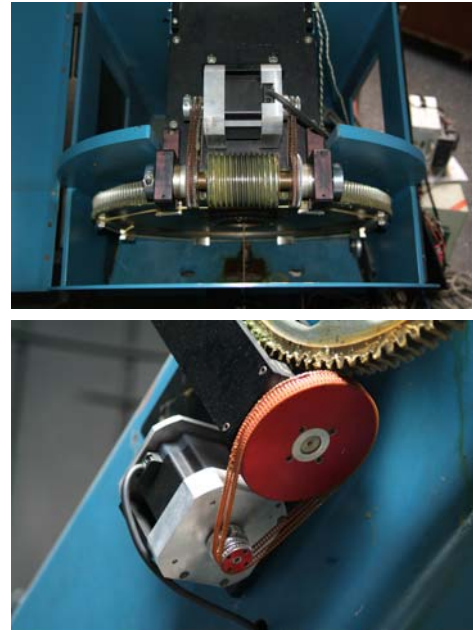


그림 6. 스텝핑 모터와 테플론 체인을 사용한 기존의 구동부

그림 9는 위의 설계를 토대로 실제 제작한 구동부의 모습이다. 이 구동부는 현재 경희대학교 주망원경에 장착되어 구동테스트를 마친 상태이며 앞으로 시험관측을 거쳐 원기어 및 타이밍 벨트에 의한 주기오차 및 지향오차, 그리고 장시간 노출 시에 발생하는 추적오차를 측정할 예정이다.

4. 결론 및 토의

경희대학교 30인치 주망원경의 새로운 제어용 소프트웨어의 제작과 구동부의 적용으로 표 1과 같은 향상된 성능을 보이게 되었다. 기존 구동부에 사용된 엔코더가 없는 5상 교류 스텝핑 모터는 단순한 파형의 펄스 수에 따라 회전수를 제어하는 방식으로 제어 정밀도가 매우 낮고 이동 중 속도의 변경이 불가능했다. 새롭게 적용한 BLDC 서보 모터시스템은 고분해능의 제어 신호와 엔코더를 이용하여 정밀한 위치제어와 속도제어가 동시에 가능하게 되었고 최대정지토크 및 출력이 대폭 향상되어 훨씬 큰 안정성을 갖게 되었다. 추적오차의 경우 AG 없이 흐르지 않는 이미지를 보여주는 최대 노출시간을 표시했다.

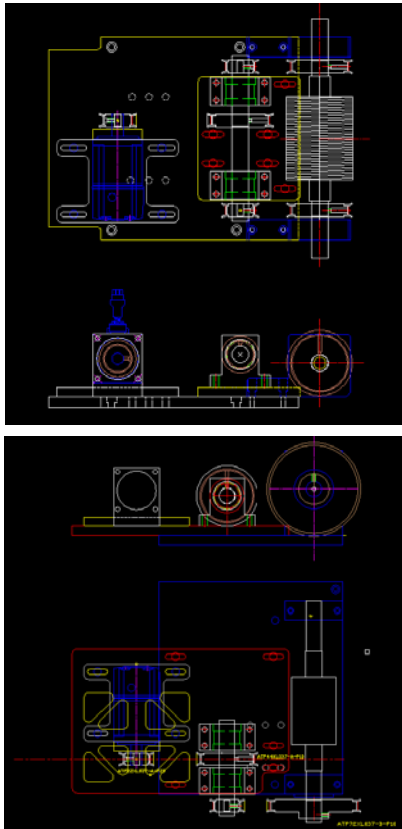


그림 7. 적경, 적위축의 2D CAD 설계도면

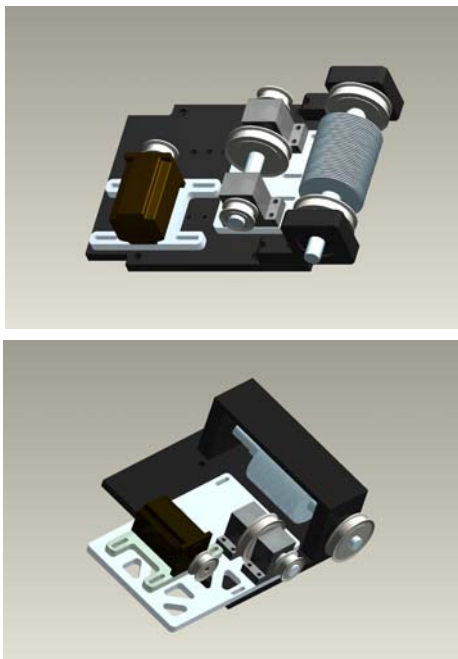


그림 8. 적경, 적위축의 3D 모델링

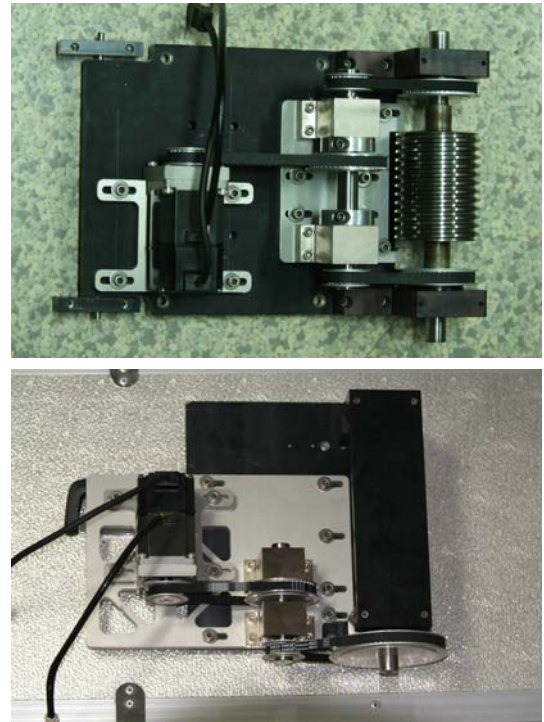


그림 9. 제작된 경희대학교 주망원경의 구동부

지향오차와 추적오차 역시 크게 개선되었다. 기존 시스템의 지향오차의 경우 웜기어와 스테핑모터의 특성상 단위 이동범위가 상대적으로 컸기 때문에 평균 15 arcmin 정도였다. 이 망원경의 검출기로 사용하던 1K CCD의 화각(field of view)이 18 arcmin 임을 본다면 상대적으로 매우 큰 편에 속한다. 따라서 관측 대상의 변경 시에는 한 시야 안에 들어오지 않았음으로 일차적으로 화각이 넓은 비디오카메라를 이용하여 대상을 근접시킨 후 CCD 중앙에 오도록 pointing 작업을 해야만 했다. 새로운 시스템 적용 후 시험결과 지향오차는 적경축이 평균 2.5 arcmin 이고 적위축이 3.5 arcmin 으로 CCD 중앙에서 평균 130 pixel 이내에 위치하게 되었고, 이는 당초 설계목표인 2 arcmin에 근접한 수치이다. 현재 양축에 사용하고 있는 웜기어의 공차특성상 2 arcmin을 최소값으로 설정하였다.

추적정밀도는 기존 시스템의 경우 스테핑모터의 특성상 50초 이상의 노출을 줄 경우 상이 흘러가거나 주기오차로 인해 찌그러지는 현상이 생겨 이를 해결하기 위해 Autoguiding(AG) 시스템을 이용하였다. 이 AG는 Sbig사의 ST-6 CCD와 컨버터를 이용하여 망원경의 추적오차를 측정하여 모터드라이브에 강제적인 펄스 신호를 넣어 보정하는 방식을 사용했고, 300초 이상의 장시간 노출이 가능했다. 하지만 이 방식을 사용하는 경우 스테핑모터에

표 1. 경희대학교 주망원경의 향상된 구동 성능

구분	기존 구동부	교체된 구동부
모터종류	5상 교류 스테핑 모터	BLDC servo 모터
평균출력	15W / axis	200W / axis
구동제어방식	PAM	PWM+PID
구동정밀도	500 pulse/rotation	131.072 pulse/rotation
엔코더분해능	0.36 °/pulse	0.0046 °/pulse
최대회전속도	600 rpm	3000 rpm
최대정지토크	1.66 Nm	6.5 Nm
최종출력토크	24.2 Nm	72.0 Nm
최대구동속도	4.0 °/sec	40.0 °/sec
지향오차(평균)	15 arcmin	2.5 arcmin
추적오차(최대)	50초	200초(시험관측중)

엔코더가 없기 때문에 보정되어 이동된 변위량을 TCS에서 인식하지 못하였고, 이에 따른 오차가 누적되면 새로 pointing 작업을 하여 좌표를 초기화시켜주어야 했다 (민상웅 2004). 새로 적용한 시스템은 구동정밀도와 엔코더분해능이 대폭 향상되어 AG 없이도 200초 이상의 노출이 가능하게 설계하였고 2006년 12월 현재 시험관측 중에 있다. 또한 서보모터에 의한 능동 feedback 시스템이므로 보정되는 변위량이 자동으로 엔코더를 통해 모터드라이브에 감지되어 TCS에 표시된다.

소프트웨어의 확장성도 높아져 구동 속도 및 위치를 사용자가 손쉽게 변경할 수 있으므로 일반천체 뿐만 아니라 인공우주물체 및 혜성, 소행성 등과 같은 천체들의 관측이 용이해졌다. 또한 경희대학교 주망원경 뿐만 아니라 다른 소형 및 대형 망원경의 구동부 하드웨어 교체만으로도 소프트웨어의 큰 수정 없이 적용이 쉬운 장점이 있다.

참고 문헌

- 민상웅, 2004, 경희대학교 석사학위논문, 3
- Ajinextek, 2002, SMC Software Library User Manual 1, 9
- Meeus, J, 1985, Astronomical Algorithms, 59
- Meeus, J, 1988, Astronomical Formulae for Calculators, 39
- Mitsubishi Electric, 2002, Melservo manual 1, 6