

망원경 LX200-16 구동장치의 주기오차량 측정과 보정

정장해, 이웅삼, 이충욱
충북대학교 천문우주학과

THE MEASUREMENT AND CORRECTION OF THE PERIODIC ERROR OF THE LX200-16 TELESCOPE DRIVING SYSTEM

Jang Hae Jeong, Young Sam Lee, and Chung Uk Lee
Department of Astronomy and Space Science, ChungBuk National University
Cheongju, 361-763, Korea

E-mail: jeongjh@ast.chungbuk.ac.kr, leeys@ast.chungbuk.ac.kr, leecu@ast.chungbuk.ac.kr

(Received March 25, 2000; Accepted May 15, 2000)

요 약

충북대학교 교내천문대에 설치된 LX200 망원경의 구동장치가 가지고 있는 주기오차량을 측정하고, 이를 분석하여 보정하였다. 주기오차의 보정전에 측정된 오차의 표준편차는 $\sigma = 7.''2$ 이었고, 주기오차를 보정한 후의 $\sigma = 1.''2$ 로 추적을 하는데 있어 정확도면에서 6배 향상되었다.

ABSTRACT

We examined and corrected the periodic error of the LX200-16 Telescope driving system of Chungbuk National University Campus Observatory. Before correcting, the standard deviation of the periodic error in the direction of East-West was $\sigma = 7.''2$. After correcting, we found that the periodic error was reduced to $\sigma = 1.''2$.

1. 서 론

현재 상용 망원경으로 널리 보급되어있는 Meade사의 LX200망원경 시리즈는 Mott (1999)가 분류한 single enveloping type의 워프와 워기어를 사용하는 소형 구동장치를 채택하고 있는데, 망원경의 크기에 따라 워기어의 피치개수를 180개 또는 360개로 제작하여 판매하고 있다. 이 워기어의 피치개수는 구동부의 설계시 워프와 워기어간의 회전율을 결정하고, 얼마나 망원경을 부드럽게 구동할수 있는가를 결정짓는 주요한 설계변수로써, 피치개수가 180개인 경우에는 워프의 1회전이 망원경을 2° 만큼 회전하게 하고, 피치개수가 360개인 경우에는 워프의 1회전이 망원경을 1° 만큼 회전하게 한다.

또한, 워프와 워기어를 사용하는 구동부가 장착된 망원경에서 동력의 전달은 워프의 빗면이 워기어의 피치를 밀어내거나 끌어당길 때 이루어지므로, 가공된 워프와 워기어의 정밀도에 동력전달의 정확도가 의존된다. 따라서, 망원경을 정확하게 제어하기 위해서는 워기어의 피치를 많게 설계하는 것과 워프와 워기어의 정밀한 가공이 필수적이라 할수 있다. 그러나, 워기어의 피치가 워프에 의하여 받는 힘을 고려할 때, 피치의 개수는 워기어의 크기와 재질에 따라 이미 결정되므로 피치개수를 무한정 늘릴 수 없게

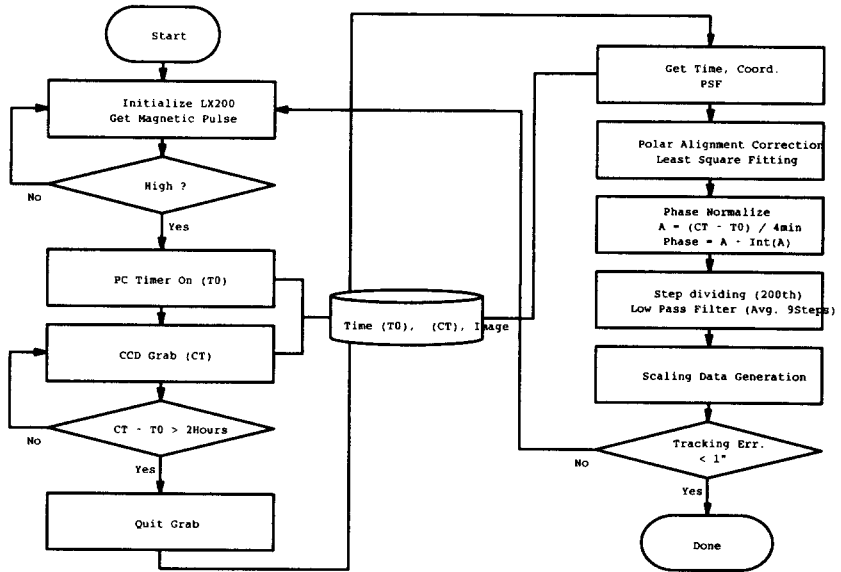


그림 1. 주기오차보정을 위한 처리 흐름도.

된다. 웜과 웜기어를 사용하는 구동부가 장착된 망원경에서는 항성을 추적하는 동안에 여러 가지 요인에 의한 오차들이 발생하게 되는데, 그 중에서도 웜의 빗면이 웜기어의 피치를 밀거나 당겨서 동력을 전달할 때 동력을 전달하는 접점이 어긋났거나, 웜의 샤프트가 휘어졌거나, 또는 웜과 웜기어의 가공이 제대로 되지 않았거나 등의 이유로 인하여 웜이 1회전 할 때마다 반복적인 형태의 오차가 웜기어에 전달될 때 추적오차가 생기는데, 이런 오차를 주기오차 (periodic error)라고 한다. 이 오차는 웜기어의 피치개수가 180개인 경우에는 8분 간격으로, 360개인 경우에는 4분 간격으로 발생하게 되며 충북대가 보유하고 있는 LX200-16의 경우에는 피치의 개수가 360이므로 주기오차는 4분 간격으로 나타나게 된다 (그림 7 위 참조). 충북대학교 천문대에 설치된 망원경은 Meade사의 LX200-16 이다. 이 망원경의 구동장치에 Meade사는 주기오차의 보정을 위하여 SMART DRIVE (Meade Instruments Corporation 1994)라는 특별한 장치를 첨가 했다. 이것은 구동제어 보드의 Electrically Erasable and Programable Read Only Memory (EEPROM)에 웜의 회전속도에 대한 데이터를 저장하여 놓고 웜의 회전을 빠르게 또는 느리게 할 수 있도록 한 것이다. 그러나, 우리가 당면한 문제는 어떤 방법으로 EEPROM에 넣을 보정 데이터를 얻는지 알려져 있지 않다는 것이다. 이 부분에 대하여 Meade사는 비밀로 하고 있다.

우리는 이를 위해 주기오차가 민감하게 나타날 것으로 보이는 적도 근처의 천체를 CCD로 관측하여 시간에 따른 위치 변화를 측정 하기로 했다. CCD는 Santa Babara Instrument Group (SBIG)사의 ST-8를, 이미지의 중심좌표를 결정하기 위하여 IRAF의 Point Spread Function (PSF) 루틴을 사용하기로 하고, 측정된 값은 Press et al. (1990)이 제시한 low pass filter를 이용하여 연속함수의 값들로 바꾸어서 망원경의 추적속도 변화가 너무 급격히 변하지 않도록 하였다. 우리가 충북대학교 교내천문대 LX200-16 망원경의 주기오차보정을 위해 수행한 일의 흐름도를 작성해 보면 그림 1과

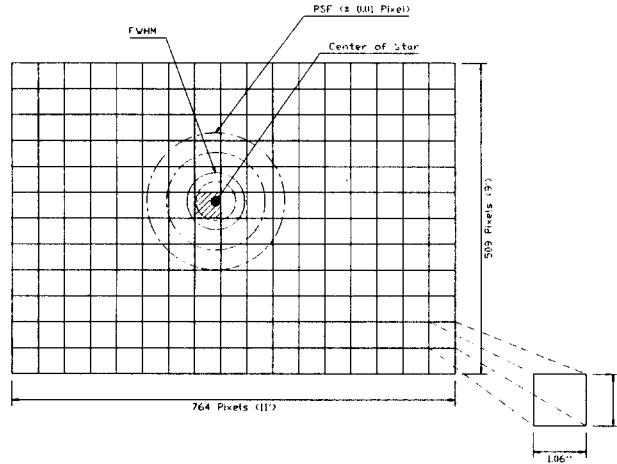


그림 2. 관측에 사용한 CCD의 규격과 CCD 표면에서의 별 중심 찾기.

같다.

2. 주기오차에 의한 동서방향 변위량 측정

주기오차의 양을 측정하는데 있어 가장 중요한 전제는 주기오차가 계통오차 (systematic error)라는 것이다. 따라서, 최대한의 노력으로 제거할 수 있는 모든 종류의 다른 계통오차를 줄이는 것이 아주 중요하다. 이 작업을 위하여 우리는 이미 조정되어있는 극축을 다시 정확하게 조정하였는데, 이 조정에는 실시간 CCD카메라 BO5를 사용하여 별 홀리기 (drift) 방법으로하였다. 우리는 주기오차 측정에 Kodak사의 KAF-1600 CCD를 내장한 SBIG사의 ST-8 CCD 카메라를 사용했다. 우리는 이 CCD를 3 × 3 binning 모드 (764 × 509 pixels)로 하여 관측에 사용하였다. 그림 2는 관측에 사용한 CCD의 화소들과 CCD 표면에 별이 위치했을 때의 중심결정을 도식화한 것으로 중심측정을 위해 IRAF의 PSF루틴을 이용하였다.

주기오차는 그림 7(위)에서 보듯이 그 형태가 계속해서 반복되는 사인함수의 꼴로 나타나기 때문에 워축이 어떤 기점으로부터 회전한 각도에 따라 주기오차값을 가지는지 명확히 측정하여야 한다. 이를 해결하기 위하여 LX200-16의 구동 보드를 분석해 본 결과 그림 3과 같이 적경과 적위축에 각각 2개의 자기센서 (magnetic sensor)가 부착되어 있음을 확인 하였다. 이 센서들 중 하나는 망원경의 절대 위치 즉, 주차위치 (parking position)를 찾기 위함이고, 다른 하나는 워축의 회전을 헤아리기 위함인데, 우리는 후자의 자기센서가 작동하는 순간을 감지하여 이때의 시각을 기록하도록 하여 주기오차의 기점을 측정하였다. 앞서 언급한 바와 같이, LX200-16은 360개의 피치로 이루어진 워기어를 가지고 있으므로 1회전당 소요되는 시간은 4분이므로 주기오차는 4분의 시간을 주기로 하여 반복되고, 한 주기의 시작은 자기센서가 작동하는 순간이 된다.

망원경이 동서 방향으로 움직이는 변위량을 측정하기 위하여 밝은 천체 (Vega; $m = 0.^m1$, $\alpha =$

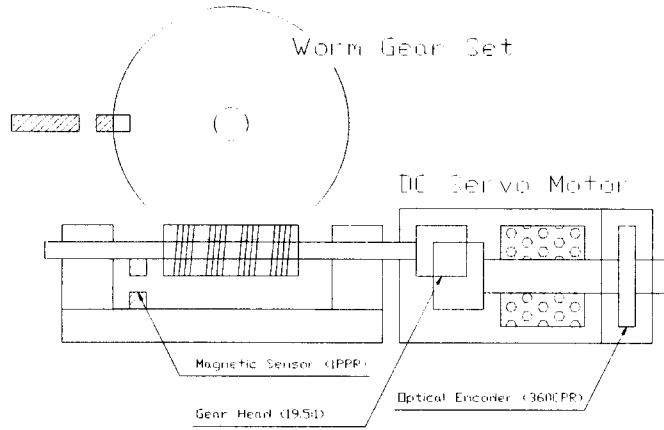


그림 3. LX200-16을 구성하고 있는 적경축의 동력전달 구조와 자기센서.

$18^{\circ}36'56.97$, $\delta = 38^{\circ}47'2''$)를 CCD 중앙에 오도록 하였고, 자기센서가 동작하는 순간을 기점으로 40분 정도 관측을 하였다. 이때, 각각 관측자료의 시간차를 줄이기 위하여 전체 CCD 이미지를 읽지 않고, 이미지의 일부만을 읽어들이어 관측시간을 최소화 하였다. 관측자료로부터 구한 시각에 따른 망원경의 동서방향에서의 변위량을 가지고 워축의 회전에 대한 망원경의 추적속도를 나타내면 그림 4와 같은데, 가로축은 4분을 1주기로 하여 연속적인 시각을 같은 위상 (phase)으로 중첩 시켰고, 세로축은 각각의 시각에서 측정된 망원경의 동서방향 각속도를 의미 한다. 그림 4에서 나타낸 $\omega = 15''/s$ 는 항성의 추적속도로써, 주기오차가 전혀 없을 경우 모든 관측점들은 이 직선상에 놓이게 된다. 이 그래프에서 닫힌 점들은 low pass filter를 사용하기 전단계의 값이며, 이 단계를 거치게 되면 그래프는 세로축 방향으로의 편차폭이 줄어들어 그림 5에서와 같이 부드러운 곡선에 가까워진다.

3. 주기오차량의 보정

Hobbs (1999)에 의하면 LX200-16 control board의 ROM 속에 내장된 SMART DRIVE루틴은 기계적인 결함으로 인해 발생하는 주기오차를 보정하려는 것으로 그림 6처럼 워축의 1회전을 200등분하여 각각의 단계에서 워의 회전속도를 가속하거나 감속시킬 수 있는 값들을 24LC16B EEPROM (Microchip 1998)에 저장하여 보정하는 루틴이다. 또한, 이 EEPROM의 데이터를 읽고 쓰기 위하여 표 1과 같은 명령어들을 정의하여 놓고 있다. 이와 관련한 자세한 정보는 Meade사의 홈페이지 (<http://www.meade.com/>)를 참조하기 바란다.

망원경의 항성추적속도는 $15''/s (= 1^{\circ}/4m = 1^{\circ}/240s)$ 이다. 그러나, 주기오차 보정에 사용하도록 만들어진 SMART DRIVE는 워축의 회전을 200 단계로 나누었기 때문에 한 단계당 망원경이 회전하는 각은 $18''$ 이며, 이때 소요되는 시간은 $1.92s$ 가 된다. 따라서, 그림 4의 가로축을 200등분하게 되면, 각각의 단계 즉, $1.92s$ 간격에서의 속도를 보간법을 이용하여 구할 수 있고, 이 값에 $1.92s$ 를 곱한 값과 $18''$ 와의 차이가 바로 우리가 보정 하여야 하는 각거리가 되며, 이 각거리를 $18''$ 로 나누어준 값이

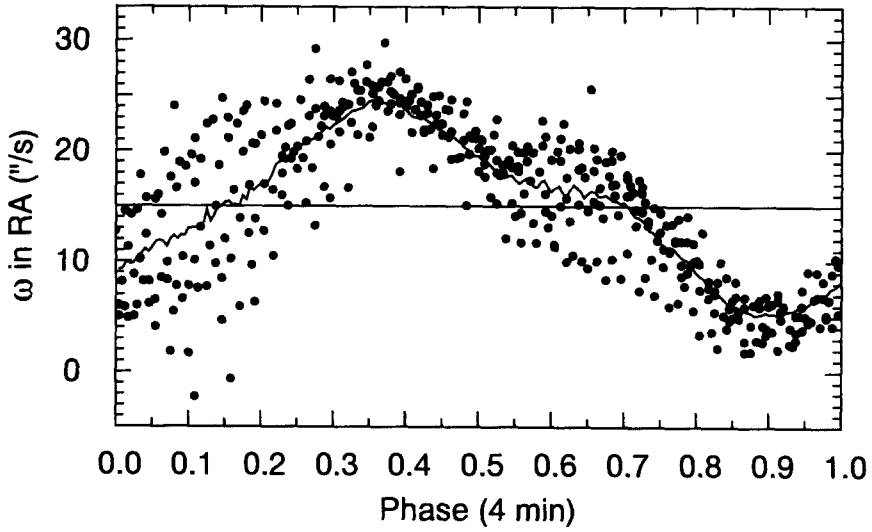


그림 4. 웜축의 회전에 따른 망원경의 추적속도 ($\omega = 15''/s$ 는 항성의 추적 속도).

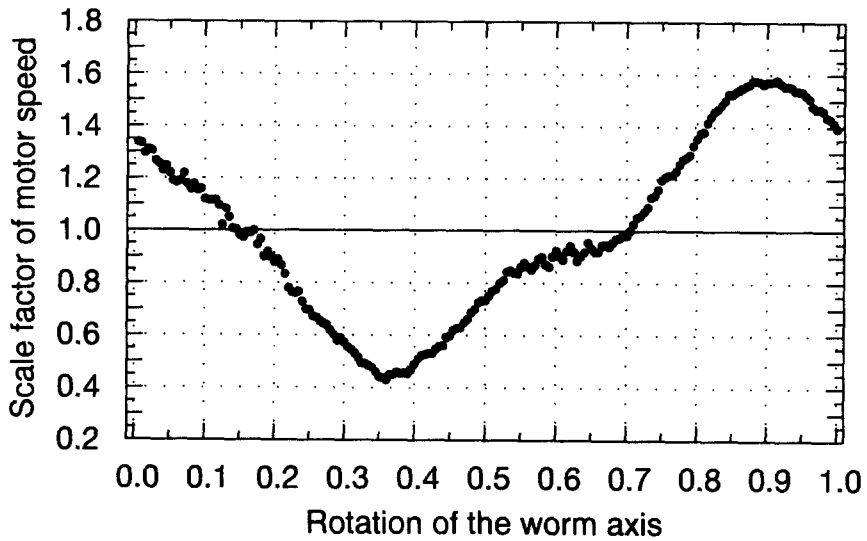


그림 5. 주기오차를 보정하기 위하여 구한 웜의 회전 비례계수.

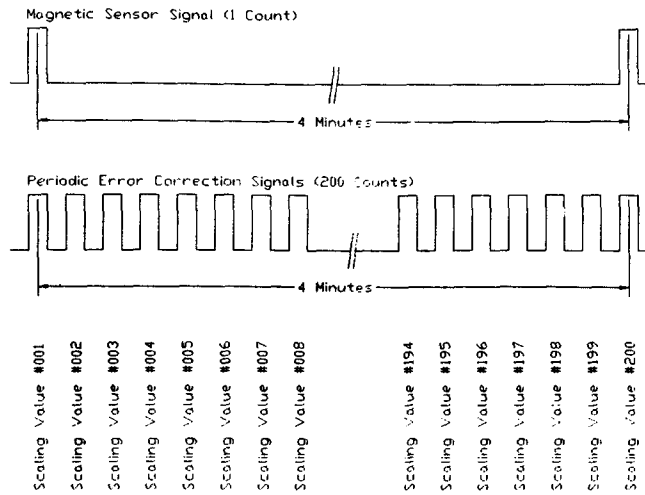


그림 6. 워ムの 회전에 따른 200개의 세부단계(SMART DRIVE).

워ムの 회전을 가속시키거나 감속시키는 비례계수가 된다. 이를 도식화하면 그림 5와 같다. 그림 5는 그림 4에서 보이는 편차량을 low pass filter를 사용하여 결정하려는 지점에서 전후로 5 단계만큼의 범위에 있는 데이터를 평균하여 사용하였고, 그래프에서 각각의 점들은 보간법으로 결정한 200개의 계산값 이다.

LX200 시리즈 망원경과 같이 자체적으로 주기오차를 보정하는 루틴을 가지고 있는 망원경은 물론, 다른 일반적인 망원경의 경우에도 망원경의 구동부를 이루고 있는 모터의 속도를 조절할 수 있다면, 주기오차의 기산점을 찾을 수 있는 자기센서나 encoder 등을 그림 3과 같이 부착하여 이들로부터 기산점을 구한후 기산점을 기준으로 주기오차를 보정할 수 있다.

4. 결 론

LX200-16 구동부의 SMART DRIVE 루틴을 이용하여 워ム과 워ム기어를 사용하는 소형 망원경 구동부의 최대 문제점인 주기오차를 보정 하였는데, 특히, 오차를 측정하는 방법은 여러가지 있으나, 우리는 섹션 2에서 설명한 우리의 방법으로 하였고, 워ム축이 1회전하는 순간을 측정하기 위하여 워ム축의 자기센서로부터 기점을 정하여 이 시각을 기록하도록 하였고, 이때를 시작으로 4^m 간격으로 관측 자료를 normalize하여 주기오차를 측정하였다. 보정전에 측정된 주기오차의 표준편차는 $\sigma = 7.''2$

표 1. SMART DRIVE 제어에 사용하도록 예약된 명령어.

Command	Description	Command	Description
#:VRNN#	View RA scale data	#:ZNN#	Target sector of a worm
#:VDNN#	View DEC scale data	#:YRNN#	Write to RA EEPROM
		#:YDNN#	Write to DEC EEPROM

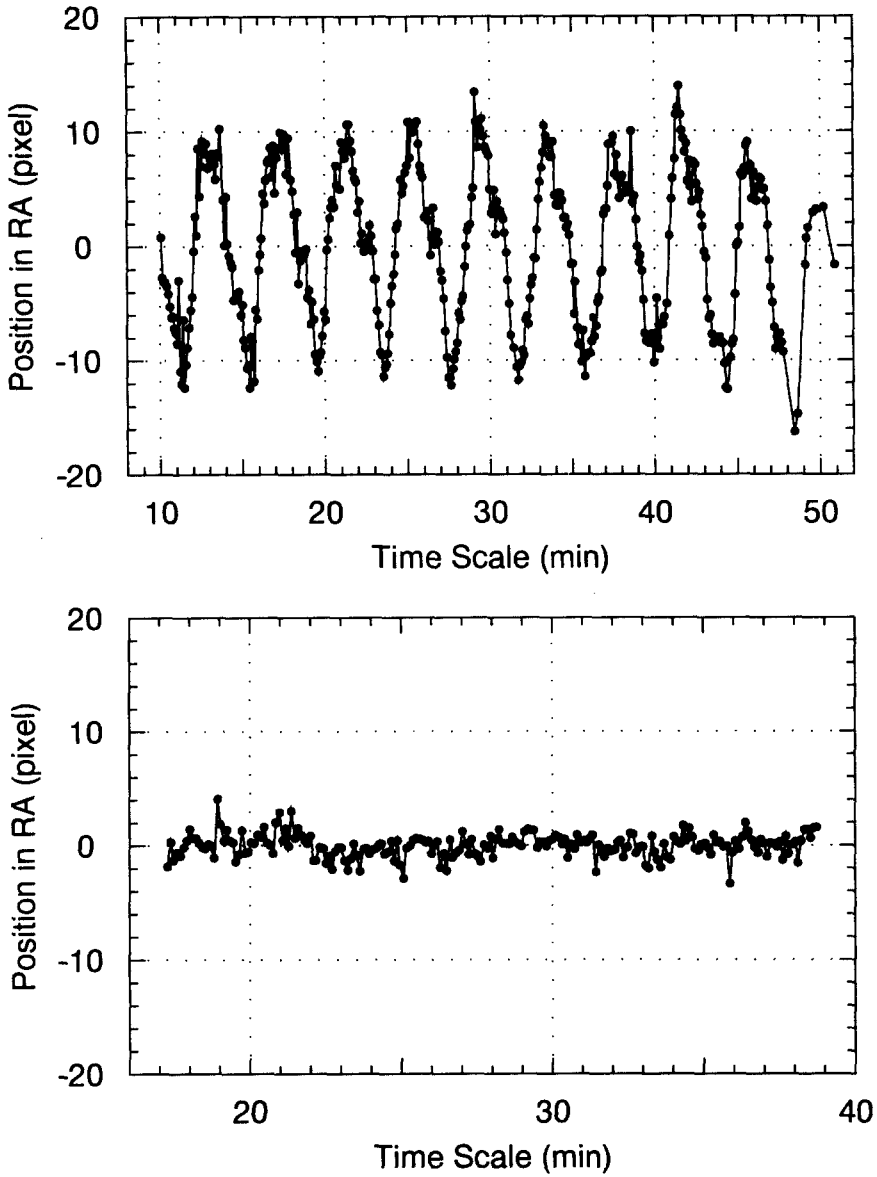


그림 7. Periodic error 보정 전(위)과 보정 후(아래)의 동서방향 변위량 비교.

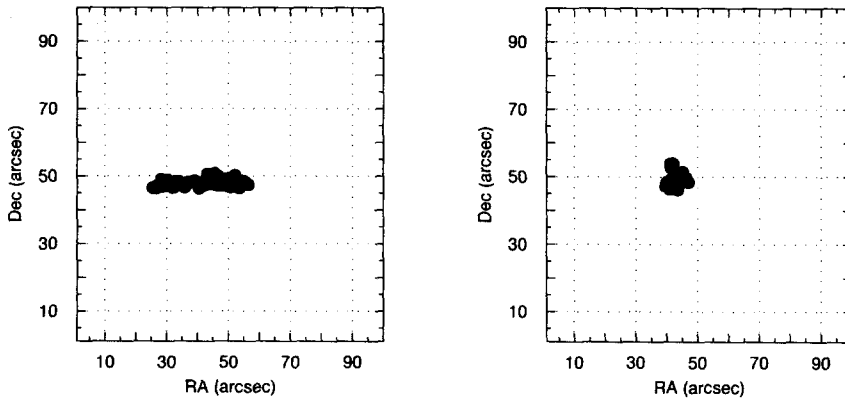


그림 8. Periodic error 보정 전(위)과 보정 후(아래)의 4분간 망원경 추적상태 비교.

이었고, 보정후의 표준편차는 $\sigma = 1.''2$ 로 약 6배 향상되었다.

주기오차를 보정하기 위하여 기산점을 정하고, 주기오차의 형태를 찾아 주기오차를 보정하는 우리가 채택한 방법은 LX200 시리즈 망원경의 보정 뿐 아니라, 일반적으로 사용되는 망원경 중에서 기산점을 찾을수 있는 feedback을 가진 시스템과 구동 모터의 속도를 조절할 수 있는 망원경에 대하여도 모두 적용할 수 있다.

그림 7은 충북대학교 교내천문대의 LX200-16 망원경을 구동하는 장치의 주기오차를 보정하기 전과 후의 망원경이 동서방향으로 움직인 변위량을 비교한 것이고, 그림 8은 4분동안에 6초 간격으로 천체의 움직임을 나타낸 것으로써 주기오차를 보정하기 전과 후로 천체를 4분 정도 노출할 경우 별의 이미지는 그림 8(위)에 나타난 궤적을 따라 마치 오이처럼 길다랗게 흐른 이미지를 얻게 된다. 그림 8의 아래는 보정후의 상태를 나타낸 것이다.

감사의 글: 이 실험이 진행될 수 있도록 여러가지 기술적인 지원을 아끼지 않은 연세대학교 천문대의 정남해 선생님과 Meade 사의 Export Manager 인 Mr. P. Hobbs 에게 감사드립니다.

참고 문헌

- Hobbs, P. 1999, Private Communications
- Meade Instruments Corporation 1994, Instruction Manual for 16 inch LX200 Schmidt-Cassegrain Telescope (Santa Babara: Meade Instruments Corporation.)
- Microchip 1998, 24LC16B data sheet (Santa Babara: Microchip Technology Inc.)
- Mott, R. L. 1999, Machine Elements in Mechanical Design (New Jersey: Prentice Hall Inc.), pp. 294-295
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., & Vetterling, W. T. 1990, Numerical Recipes in C (New York: Cambridge University Press), pp.514-516