

## 태양전파 교란 실시간 모니터링 시스템 구축 I. 전파망원경 구동시스템

윤요나<sup>1,2†</sup>, 이충욱<sup>2</sup>, 차상목<sup>1</sup>, 김용기<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 천문우주학과

<sup>2</sup>한국천문연구원

### A CONSTRUCTION OF THE REAL TIME MONITORING SYSTEM OF THE SOLAR RADIO DISTURBANCE

#### I. THE CONTROL SYSTEM OF THE RADIO TELESCOPE

Joh-Na Yoon<sup>1,2†</sup>, Chung-Uk Lee<sup>2</sup>, Sang-Mok Cha<sup>1</sup>, and Yonggi Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

Cheongju, 361-763, Korea

<sup>2</sup>Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: antalece@kao.re.kr

(Received May 25, 2004; Accepted June 1, 2004)

#### 요 약

태양전파 교란 실시간 모니터링 시스템 구축의 일환으로 태양전파망원경 구동시스템을 완성하였다. 한국천문연구원이 제작한 1.8m전파 안테나가 사용되었으며, 수신된 태양의 전파세기는 파워미터를 통해 디지털신호로 변환된다. 또한, 시스템의 구동과 파워미터의 제어를 위하여 CBNUART이라는 프로그램을 개발하여, 망원경이 일출 후 태양 쪽을 향하여 관측을 자동으로 시작하고 일몰 전에 약속된 곳으로 되돌아와 관측을 자동으로 종료하는 자동관측시스템을 구축하였다. 완성된 구동시스템의 추적 정밀도를 개선하기 위해 능동추적 프로그램을 개발하였으며, 안테나 부분에 광학망원경을 장착하여 시스템의 구동능력을 시험하였다. 실험결과 본 연구에서 구축된 구동시스템은 초과의 정밀한 추적이 가능하며, 약 50분간의 지향정밀도 측정시험에서는 적경과 적위방향으로 약 1.12분각, 0.08분각 정도의 오차범위 내에서 제대로 잘 찾아감을 확인하였다.

#### ABSTRACT

As the first step of the real time monitoring system of the solar radio disturbance, we constructed the control system of the solar radio telescope. An 1.8m antenna built by Korean Astronomy Observatory has been used, and the observed radio flux is transformed to the digital signal by the powermeter. We have also developed a computer program CBNUART in order to control the telescope system and the powermeter. As the sun rises, the telescope begins to observe the sun, and ends the observation automatically at sunset. The CBNUART enables the telescope automatically to go to the position of the sunrise for the beginning the observation and come back to the setposition after the ending the observation at the sunset. An active tracking routine is adopted in order to improve the tracking accuracy of the control system,

<sup>†</sup>corresponding author

표 1. 충북대학교 전파 망원경의 제원(정재훈 등 1991).

| 특성           | 사양    | 특성                   | 사양     |
|--------------|-------|----------------------|--------|
| 직경(D)        | 1.8m  | 표면 정밀도( $\epsilon$ ) | 0.05cm |
| 초점거리         | 70cm  | 안테나 이득(G)            | 45dB   |
| F-ratio(f/D) | 0.389 | 분해능                  | 1°.2   |

and we used an optical telescope equipped in front of the antenna for control test. The tracking test shows that our control system can track with the accuracy of arc seconds, and the 50 minute pointing test shows that the pointing accuracy of right ascension and declination are 1.12 and 0.08 arc minutes respectively.

*Key words:* solar telescope, controll system, space environment

## 1. 서 론

태양의 2.8GHz 전파플럭스는 태양활동 정도에 대한 정보를 제공하는 중요한 인자중의 하나인데 왜냐하면 지구의 상층대기와 이온층에 영향을 주는 태양 자외선량의 변화와 직접 관계가 있기 때문이다. 즉, 지구 상층대기를 연구할때 2.8GHz 태양 전파플럭스는 대기밀도와 위성 drag을 결정하기 위한 입력자료로 사용된다. 2.8GHz 태양 전파플럭스는 태양흑점수와 아주 밀접한 상관관계를 보이기 때문에 우주환경예보에도 사용될 수 있다. 또한 2.8GHz영역은 다른 전파영역에서의 지상관측(Das & Chatterjee 1996)이나, UV 영역(Chatterjee & Das 1995), EUV 와 soft X-ray(Donnelly & Puga 1990)영역에서의 위성관측을 대신하는 전파영역으로 사용될 수 있기 때문에 아주 중요하다. 그래서 2.8GHz 태양 전파플럭스의 정확한 예보는 다른 전파영역이나 고비용의 위성관측에 대한 초기예보를 하는데 도움을 큰 도움을 주고 있으며, 하나의 역학 시스템으로서의 태양물리에 대한 더 자세한 연구를 가능하게 해 주고 있다.

우리는 국내에서도 태양활동을 나타내주는 전파교란에 대한 기초 자료를 만들어내서 지구 상층대기를 연구하고 인공위성 drag을 결정하는데 필요한 자료를 직접 제공하기 위해 충북대학교에 태양전파 교란 모니터링을 위한 전파망원경 시스템을 구축하는 연구를 시작하였다. 이를 위해 구동 및 시스템 운영과 수신부의 제작을 나누어 진행하고 있으며, 현재 구동 및 시스템 제어는 이미 완성되어 수신기만 부착하면 곧바로 우주환경예보에 사용할 수 있는 실정이다. 이 논문에서는 관측 시스템의 구성과 구동부의 구성 및 시스템 제어에 대하여 기술하고, 구축된 시스템의 시험관측을 통해 얻어진 구동 정밀도 등을 논의하면서 향후 활용 가능성 등을 보고하려 한다.

## 2. 태양전파 관측시스템

본 연구에는 1998년 한국천문연구원에서 제작한 1.8m 전파 망원경이 사용되었는데, 그 특성을 표 1에 정리하였다(정재훈 등 1991). 이 망원경을 태양전파수신용을 사용하기 위해 최경신(2001)은 엔코더 없이 스텝 모터만 사용하는 개방형 방식의 구동시스템을 구성한 바 있는데, 스텝모터로 보내지는 신호에 의하여 제어되는 이 망원경의 적경, 적위 분해능은 각각 0.54초각, 3.24초각 이었다.

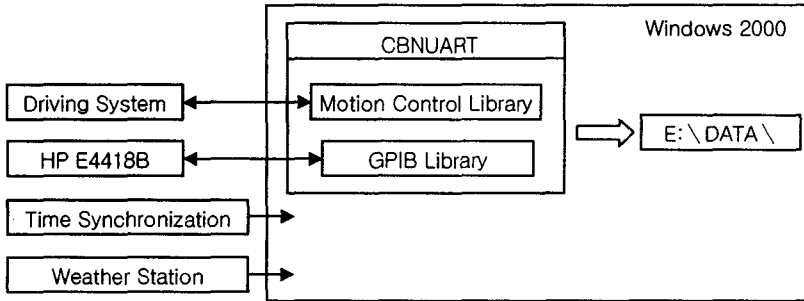


그림 1. 구성된 관측시스템의 구성도. 안테나에 수신된 태양전파신호는 HP E4418B라는 파워미터를 통해 디지털화되어 PC에 저장되고, 이와 별도로 Driving System을 구성하고 있는 모터와 감속기, 엔코더등이 자동으로 태양을 추적하는 기능을 담당하고 있다.

최경신(2001)이 구축한 시스템은 홈센서와 엔코더가 장착되어있지 않기 때문에 망원경을 초기화하고 망원경을 태양 쪽으로 보내는데 많은 시간이 소모된다. 본 연구에서는 수동 키패들을 이용하던 기존의 시스템을 자동으로 관측을 시작하고 종료하는 시스템으로 바꾸어 관측인력 확보의 어려움을 극복할 뿐만 아니라 망원경의 초기화에 따른 시간손실을 최소화하여 효율적인 관측을 수행하는 시스템을 개발하였다. 즉, 이 시스템은 관측자가 수동으로 관측하지 않고, 해가 뜨면 망원경이 자동으로 태양 쪽으로 향하여 관측을 시작하고, 일몰 전에 관측을 끝내고 원래 시작지점으로 되돌아오는 자동 관측시스템이다.

본 자동관측 시스템은 태양을 추적하는 구동부와 태양으로부터 나오는 전파를 수신하는 수신부로 구성된다. 또한 현재 제작중인 2.8GHz 수신기를 통과한 전파신호가 파워미터를 통해 디지털 신호로 바뀌어, 그 값을 컴퓨터로 쉽게 읽어 들일 수 있도록 관측 프로그램을 개발하였다. 이런 시스템에서는 수신기만 교체하여 다른 주파수의 전파를 측정할 수 있다.

시스템의 사양을 결정할 때 태양전파 관측 시스템을 좀더 효율적으로 구성하기 위하여 다음과 같은 몇 가지 요구조건들을 고려하였다: 첫째, 관측을 수행하기에 충분한 정도의 추적 및 지향 정밀도를 갖추고 있는가? 둘째, PC를 통한 시스템의 완벽한 통제가 가능하며 관측자가 최소한의 노력으로 관측을 할 정도로 제어가 편리한가? 셋째, 노후화 또는 파손으로 인한 부품의 교체가 요구될 때 부품을 쉽게 구할 수 있는가?

전파망원경의 추적 및 지향정밀도에 관계하여 볼 때, 본 연구에 사용되는 전파망원경의 공간 분해능은 약 1.2도이다. 따라서, 우리가 구현하려는 시스템의 정밀도는 수 분정도의 정밀도면 충분하다. 하지만, 현재 진행 중인 충북대학교 1m광학망원경 구동시스템 개선 연구(김용기 2004)에 활용할 수 있도록 하기 위해 수 초정도의 높은 구동 정밀도를 지닌 시스템으로 구성하였다.

PC를 통한 완벽한 제어를 하기 위하여 AJIN사의 PC-PCI 2축 모션제어카드를 사용하였다. 이 카드는 사용자에게 라이브러리 파일을 제공하여, 사용자가 쉽게 카드를 제어할 수 있도록 도와주며, 외부 센서제어도 편리하게 할 수 있도록 도와주고 있다. 이 카드를 이용하여 구축된 구동프로그램은 시스템을 쉽게 자동 제어할 수 있게 해 준다.

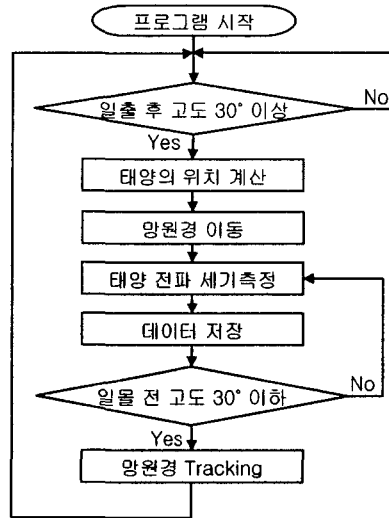


그림 2. 자동관측 프로그램 CBNUART의 흐름도.

부품을 손쉽게 교체할 수 있도록, 시스템을 구성할 때 가능한 널리 사용하는 부품을 이용하였다. 구동에 사용한 모터 및 감속기는 Mycom사의 PS599-A 와 감호사의 BRA85-30-φ9.5이다. 이들을 이용해 얻어지는 적경축과 적위축 정밀도는 각각 0.18초각 과 1.08초각이다. 또한, RENISHAW사의 RESR20USA200 로터리 엔코더를 사용하여 0.41초각의 각 분해능을 가지도록 하였다.

또한, 관측 후 자료의 신뢰성을 높이기 위하여 Davis Weather Station을 설치하여 매시간 온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 정보를 측정하고 기록하도록 하였으며, 관측 시각의 정밀성을 향상시키기 위하여 GPS 시각으로 PC시각을 동기화 시키도록 구성하였다. 그림 1에 구성된 관측시스템의 구성도를 제시하였는데, 구동제어와 관측 및 자료저장을 Windows 2000 O/S기반의 PC한대가 담당하도록 하는 프로그램을 개발하여 시스템을 구축하였다.

### 3. 자동 태양관측

앞서 언급한 시스템 사양을 충족시키는 구동부를 제어할 뿐만 아니라 수신기에 수신된 전파신호를 디지털화하는 파워미터를 제어하여 관측을 수행하기 위해 Visual C++을 사용하여 CBNUART 라는 자동관측프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 자동관측 및 수동관측 모드를 설정할 수 있어 상황에 맞게 관측을 수행할 수 있다. 그림 2는 자동관측을 위한 프로그램 구성도이다. CBNUART는 자동관측모드가 설정되었을 때 일출 후 태양의 고도가 30도 이상이 되면 태양의 위치를 계산하여 계산된 위치로 망원경을 자동으로 이동시킨다. 망원경의 이동이 완료되면 망원경이 15초각/초의 속도로 태양을 추적하며 태양으로부터 방출되는 전파의 세기를 측정하여 그 값을 기록하고, 일몰 전 태양의 고도가 30도 이하가 되면 관측을 중단하고 망원경을 파킹위치로 옮기고 다음 일출 후 태양의 고도가 30도 이상이 될 때까지 대기한다. 망원경이 다음 일출 전까지는 파킹 위치에 있도록 하였는데, 파킹위치는 시간각 0시 고도 54도 근처로 하여 우천 시에도 빛물이 안테나 안에 고이지 않도록 고려

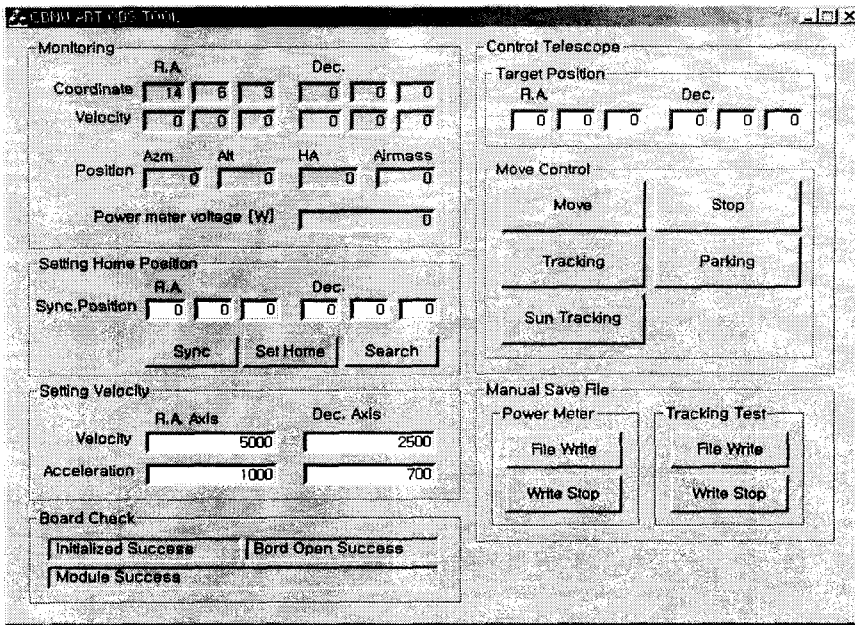


그림 3. 자동관측 프로그램 CBNUART의 실행화면.

하였다.

한편, 망원경의 원활한 이동을 위하여 모션제어카드의 내장함수를 사용하였다. 이 내장함수는 이동거리의 변화에 따라 속도를 바꿀 수 있는 기능을 제공하며, 이동거리가 클 경우에 처음에는 빠른 속도로 이동하다가 근처에 이르러서는 속도를 줄여가며 망원경을 정확히 목표한 위치로 보낸다. 이 시스템의 지향정밀도와 구동속도를 고려하여 목표로한 위치와 이동한 위치의 잔차가 15초각 이내에 이르면 이동을 완료하도록 구성하였다. 이 기능은 새로운 쓰레드(동시에 여러 프로그램들을 수행하는 기능)를 이용하여 프로그램함으로써 망원경의 이동시에도 다른 프로그램의 동작이 가능하도록 하였다.

그림 3은 CBNUART의 실행되었을 때의 화면이다. 프로그램은 망원경의 적경, 적위, 고도, 방위각, 시간각, 대기 투과량, 추적속도, 및 태양 전파의 세기를 표시하는 창을 두어 각 정보를 실시간으로 볼 수 있도록 하였고, 크게 망원경의 구동제어와 전파세기 측정부분으로 나누어 화면을 구성하였다. 화면에서 **Monitoring** 그룹은 망원경의 위치정보 및 태양전파의 세기를 나타내고, **Setting Home Position** 그룹은 망원경이 위치를 잃게 되었을 때 위치를 재설정하기 위해 구성하였고, **Setting Velocity** 그룹은 망원경의 구동과 관련하여 최적화에 사용한다. 현재는 최적화를 위하여 각 변수를 바꿀 수 있도록 구성하였으나, 일단 변수가 정해지고 나면 메뉴에서 제거할 예정이다. **Board Check** 그룹은 모션제어카드의 초기화 및 카드의 상태를 확인할 수 있도록 하기 위하여 표시하였다. **Control Telescope** 그룹은 태양 이외의 다른 위치로 망원경을 이동할 수 있도록 하였고, **Move Control** 그룹의 Sun Tracking 메뉴는 그림 3에 나타난 순서대로 자동관측을 수행한다. 이때 태양의

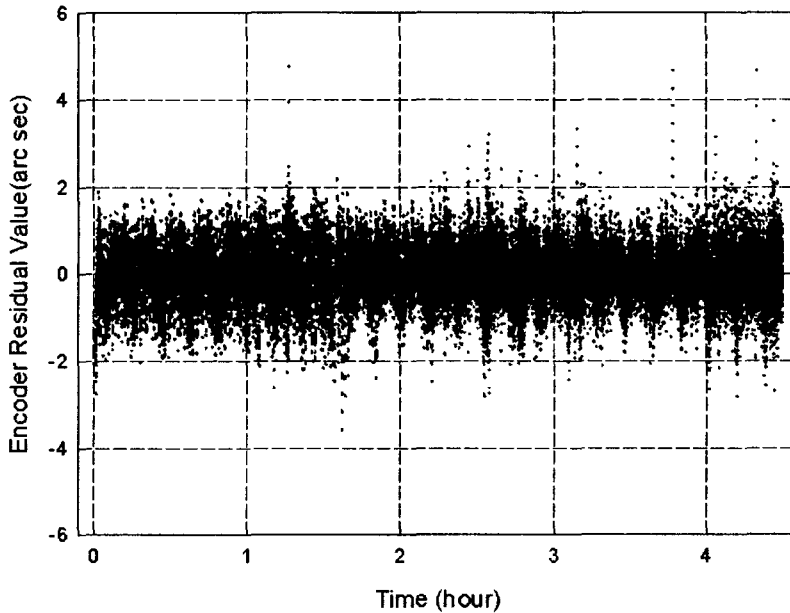


그림 4. 시스템의 추적정밀도 측정. 가로축은 측정을 시작한 시각으로부터 측정을 끝마친 후까지의 시간을 나타내며, 세로축은 시스템의 추적속도  $15^{\circ}.0000/s$ 에서 벗어난 엔코더 잔차 값을 나타낸다.

위치 계산은 NOVAS(Naval Observatory Vector Astrometry Subroutines)의 Almanac Code를 이용하였다. **Manual Save File** 그룹은 수동 관측시 측정값을 직접 저장할 수 있도록 하였다. 관측파일은 관측이 시작되는 시각을 `yymmdd[hhmmss].txt`의 형태로 파일 이름을 정하여 데이터의 정리를 효율적으로 할 수 있게 하였고, 파일에는 JD, 지방시, 항성시, 적경, 적위, 고도, 방위각, 전파세기 측정값 등을 기록한다.

#### 4. 결과 및 토의

태양전파 교란 감시를 위한 전파망원경의 관측시스템 중의 일환으로 본 연구에서 구축한 구동시스템은 수신기를 장착하기 전 단계로 안테나 접시부분에 광학 망원경을 장착하여 구동부의 성능시험을 수행하였다. 구동부의 성능시험은 추적 및 지향 능력에 대하여 이루어졌으며, 시험관측을 하던 중 극축이 어긋나 있는 것을 확인하고 극축정렬을 위하여 별 흐름 방법(Star Drift Methode, Meade Instruments corporation 1994)을 이용하였다. 별 흐름 방법은 시간각 0시 적위 36도 부근의 별과(극축이 좌, 우측의 어긋남과 관계 있음) 적위 36도 부근의 떠오르거나 지는 별을(극축이 위, 아래로 어긋남과 관계 있음) 장시간(1시간 이상) 관측하고, 이미지상에서 별이 위쪽 또는 아래쪽으로 흐르는 정도를 측정하여 극축을 정렬하는 방법이다. 우리는 별 흐름 방법을 활용하여 1시간동안 별의 흐름이 10초각 이내에 놓이도록 하였다.

시험관측 결과 구동부에 사용한 워 기어와 다단 감속기어가 주기오차를 유발하고 있음을 확인하

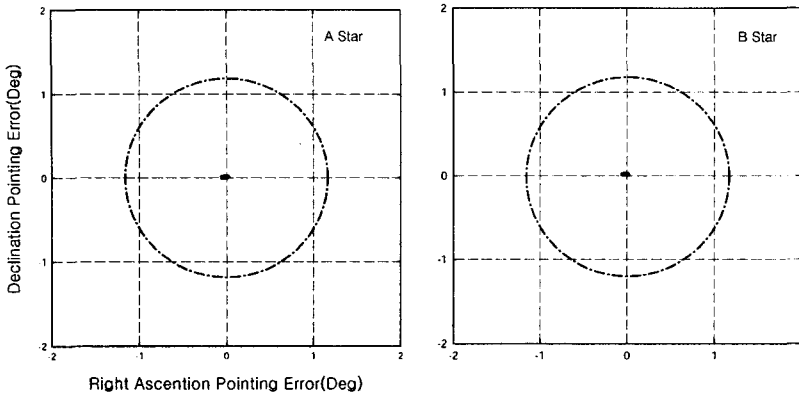


그림 5. 시스템의 지향정밀도 측정. 가로축은 관측한 별이 이미지의 중앙에서 적경방향으로 벗어난 정도를 세로축은 적위방향으로 벗어난 정도를 나타내며 중앙에 원은 접시 안테나의 공간 분해능을 나타낸다.

였다. 우리는 이 문제를 보완하기 위하여 능동추적 루틴을 사용하였는데, 이는 망원경의 추적 성능을 향상시키기 위해 널리 사용되고 있는 방법이다. 이 능동추적 루틴은 단위시간동안 예측된 위치와, 실제 망원경이 이동한 위치를 계산하여 차이값을 실시간으로 보정해 줌으로써 망원경의 추적상태를 향상시킬 수 있다. 우리가 사용한 보정 시간은 0.01초로써 이 루틴 또한 독립적인 쓰레드에 의하여 이루어지도록 하여 기존 시스템의 추적 정밀도가  $\pm 30$ 초각 인 것을  $\pm 2$ 초각으로 높여 정밀한 추적이 가능하도록 하였다. 그림 4는 능동추적 상태에서 4.5시간 동안 추적한 후 엔코더의 잔차값을 나타낸 그림이다.

우리는 또한 지향 정밀도의 측정을 위하여 약 20도 가량 떨어져 있는 두 별을 선정하여 약 50분간 A 별과 B 별을 움직이며 각각 15장을 관측하고, 각각의 관측한 영상으로부터 별이 중앙에서 벗어난 정도를 측정하였다. 통계적인 방법으로 구해본 적경과 적위 방향으로 벗어난 정도는 각각 1.12분각과 0.08분각 이었다. 그림 5는 두 천체 사이를 오가며 측정한 관측값을 나타낸 그림으로 중앙에 표시한 큰 원은 접시안테나의 공간분해능을 나타낸다. 본 연구를 통하여 구축한 태양전파감시 시스템에 태양의 흑점 변화연구를 수행하기 위한 태양망원경을 같이 장착할 예정이다. 본 시스템의 태양추적 정밀도가  $\pm 2$ 초각이기 때문에 2초각보다 큰 흑점을 충분히 추적하여 관측할 수 있게 된다. 또한 태양 지향성이 적경 1.12분각, 적위 0.08분각의 안정성을 지닌 구동 시스템으로 태양의 전파 및 광학관측을 자동으로 수행할 수 있게 되었다. 그리고 개발된 자동관측 시스템은 기상조건에 큰 영향없이 체계적이고 일괄적인 관측을 수행하는데 활용될 예정이다. 또한 태양플레어 망원경을 도입하여 전파와 광학 영역의 우주환경 모니터링 관측을 수행하여 우주환경예보에 활용될 기초자료를 제공할 계획이다.

**감사의 글:** 이 연구의 진행동안 많은 도움을 주신 한국천문연구원의 조경석 박사님께 감사 드립니다. 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(과제번호:KRF-2003-070-C00025).

### 참고문헌

- 김용기 2004, 한국우주과학회지, 준비중
- 정재훈, 김현구, 박용선, 이창훈, 노덕규, 김광태, 김수용, 이명섭, 한봉명 1991, 전파 간섭계에 의한 관측기술 개발(3차년도) (대전: 천문우주과학 연구소)
- 최경신 2001, 석사학위논문, 충북대학교
- Chatterjee, T. N., & Das, T. K. 1995, MNRAS, 274, 868
- Das, T. D., & Chatterjee, T. N. 1996, MNRAS, 278, 6
- Donnelly, R. F., & Puga, L. C. 1990, Sol. Phys. 130, 369
- Meade Instruments Corporation 1994, Instruction Manual for 16 inch LX200 Schmidt-Cassegrain Telescope (Santa Barbara: Meade Instruments Corporation.)