

소형 망원경을 이용한 시상 측정  
MEASUREMENT OF SEEING USING A SMALL TELESCOPE SYSTEM

육인수<sup>1</sup>, 경제만<sup>1</sup>, 천무영<sup>1</sup>, 권순길<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

<sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부 천문학 전공

IN-SOO YUK<sup>1</sup>, JAE-MANN KYEONG<sup>1</sup>, MOO-YOUNG CHUN<sup>1</sup>, AND KWON, SUN-GIL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory

<sup>2</sup>Astronomy Program, SEES, Seoul National University, Seoul, KOREA

(Received: November. 30, 2003; Accepted: December 22, 2003)

ABSTRACT

We have developed a seeing monitoring system and measured seeing variation of the Bohyunsan Optical Astronomy Observatory (BOAO) and the Sobaeksan Optical Astronomy Observatory (SOAO) using a small telescope system. Our seeing monitoring system is similar to the differential image motion monitor (DIMM) installed at the ESO. The only difference between the BOAO and the SOAO seeing monitoring system is a detector system, a video camera at the BOAO and ST-4 camera at the SOAO. We confirmed that the seeing monitoring system at the SOAO can measure average seeing size inspite of its simple detector system. From the BOAO seeing measurement, we found that the seeing size changes fast.

We expect that our seeing monitoring system could be used for real time seeing monitoring after some improvement, and the data to be obtained would be very useful when we build adaptive optic system in the future.

1. 서론

천체 영상은 망원경의 광학적 성능뿐만 아니라 지구 대기의 요동에도 크게 영향 받는다. 천체로부터 오는 빛이 지상에 설치된 망원경에 도달하는 동안, 상층에 부는 바람과 같은 공기 덩어리의 요동으로 인해 대기의 굴절률이 변화하여 파면이 왜곡되어 망원경 초점에 맺힌 상의 크기가 커지고 흐려진다. 이런 정도를 시상의 크기로 부르며, 천체 관측에서 시상의 크기는 매우 중요하다.

망원경을 설치하거나 새로운 관측기기를 설계함에 있어서 관측지의 시상 정보는 매우 중요하게 고려해야 할 요소 중의 하나이다. 그러나 일반적으로 소형 망원경으로는 시상을 정밀하게 측정하기 어렵기 때문에 새로운 관측지를 선정하기 위하여 시상을 측정해야 하는 경우 많은 어려움을 겪는다. 뿐만 아니라, 대형 망원경이 설치되어 있다하더라도 관측기기에 따라 시상 정보를 얻기가 불가능한 경우가 있다. 예를 들어 영상 관측시에는 시상의 크기를 얻어진 천체 영상으로부터 구할 수 있지만 분광관측의 경우에는 시상을 측정할 방법이 없다. 그리고 무엇보다도 시시각각 변하는 시상 정보를 관측 도중에는 얻을 수가 없으며, 망원경이 작동하지 않을 때에도 시상

정보를 얻을 수 없는 문제가 있다.

대기의 변화 속도를 포함한 대기 요동에 대한 자세한 정보는 적응광학 시스템(adaptive optic system)을 설계하는데 있어서 매우 중요한 요소로 작용한다. 이러한 정보는 영상관측과 같이 시간에 평균한 시상 정보로는 구할 수 없는 값이며, 이를 측정하기 위해서는 빠른 주기로 시상의 변화를 측정할 수 있는 특별한 장치가 있어야 한다. 현재 중대형 망원경을 설치한 많은 천문대에서 적응광학 시스템의 도입을 추진하고 있으며, 그중 몇몇은 이미 적응광학 시스템을 사용하고 있다. 국내의 천문대에서도 간단하나마 적응광학 시스템의 도입이 서서히 추진되고 있으나, 정작 시스템 설계에 필요한 대기의 정보는 전무한 형편이다.

비디오카메라는 매초 30프레임의 영상을 기록하기 때문에 각각의 영상을 처리하면 고분해능의 영상을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 대기의 성질을 측정하는 경우에도 유용하게 사용된다. 소형 망원경에 간단한 광학 장치를 장착하여 별과 같은 점광원을 비디오카메라로 관측하여 이를 분석하면 대기의 시상의 변화를 계산할 수 있다. 이때 시상의 크기뿐만 아니라 시상의 변화 시간도 알 수 있기 때문에 적응광학 시스템의 일반적인 사양과 적응광학 시스템을 적용했을 때의 효과도 예측할 수 있다. 이는

CCD를 일정 시간 동안 노출 시켜 얻어지는 시간에 평균한 시상의 크기로는 알 수 없는 사항이다.

## 2. 시상 측정 시스템

두 개의 작은 구멍(pupil)을 통해 들어오는 파면 경사(slope)의 차이를 측정하여 시상을 측정하는 장치는 1960년에 제안되었으며, 현재 ESO와 NOAO등에 사용되기에 이르렀다. 파면 경사의 차이는 초점면에 맺히는 영상의 위치를 변화 시킨다. 이런 원리는 Roddier 등(Sarazin, M. and Roddier, F. 1995, 이하 SR95)에 의해 자세히 연구되었으며, DIMM (Differential Image Motion Monitor)으로 구현되었다. ESO에서 사용하고 있는 시상 측정 장치는 소형 망원경을 사용하고 또한 시상 측정방법이 망원경의 추적 성능에 크게 영향을 받지 않도록 설계 되어 있기 때문에 시스템을 꾸미기가 용이하다.

관측에 사용한 시상 모니터 시스템은 ESO 천문대에 설치된 DIMM과 유사한 광학계로 구성된다.

### 2.1. 광학계

대기의 요동은 파면을 왜곡시켜 망원경의 초점면 상에 맺히는 상의 형태와 위치를 시시각각 변화 시킨다. 그림 1에 보이는 것처럼 망원경 앞에 두 개의 구멍이 뚫린 판을 놓고, 그중 한 곳에 프리즘을 놓으면 천체영상은 초점면 상에서 두 개의 상으로 분리되어 맺히게 된다. 이때 망원경으로 입사하는 파면이 대기의 요동으로 인해 변형되면, 초점면에 맺히는 두 개의 상의 위치가 기준 위치에서 조금씩 벗어나게 되어 두 영상의 거리가 달라진다. 두 영상의 거리 변화의 크기와 변하는 속도는 대기 요동의 크기와 빠르기에 밀접하게 관계한다. SR95는 두 개의 상의 위치의 분산값이 대기의 시상과 갖는 관계를 밝혀내고 정량화 하였으며 망원경 앞에 놓이는 두 개의 구멍의 위치 및 크기가 시상 측정에 미치는 영향도 알아내었다.

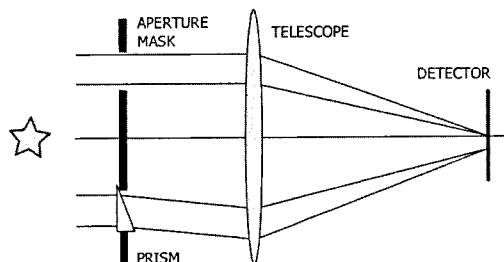


그림 1. 시상 측정 장치의 광학계 개념도

보현산과 소백산에서 사용된 시상 측정 시스템의 광학계는 동일하다. 망원경은 Meade사 12인치 LX200이 사용

되었다. 그림 2는 보현산천문대에 설치된 시상측정 장치이다. LX200은 슈미트 카세그레인 타입이며 유효구경은 305mm이고 초점비는 F/10이다.

망원경 전면에 부착되는 마스크(aperture mask)의 구멍의 지름은 50mm이고 두 개의 구멍 중심 사이의 거리는 230mm이다. 구멍의 크기와 거리는 SR95가 제시한 관계로부터 구했으며, 이는 주어진 망원경의 구경에서 시상 측정 정밀도가 가장 큰 값을 갖게 한다. 마스크는 알루미늄으로 만들어졌으며 빛의 반사를 막기 위해 검은색 착색(black anodization) 처리를 하였다. 마스크를 망원경 전면에 끼워서 장착되는 뚜껑 형식으로 제작하여, 탈부착이 용이하도록 하였으며, 시상 측정에서 일반 관측으로 쉽게 관측 모드를 바꿀 수 있도록 하였다. 마스크 구멍의 크기가 작기 때문에 시상 측정에 사용 가능한 별은 가능한 한 밝아야 한다. 소백산천문대의 시상 측정 장치에 사용 가능한 별은 2등급 보다 밝아야 하며, 보현산천문대의 경우에는 비디오카메라를 이용하기 때문에 이보다 더 밝아야 한다.

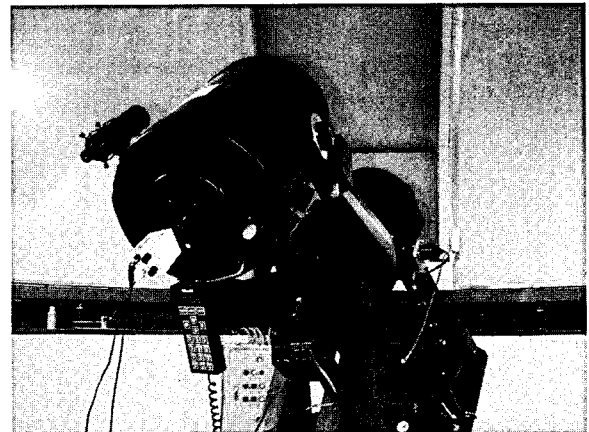


그림 2. 보현산천문대의 시상 측정 장치. 망원경 뒤쪽에 장착된 비디오카메라를 제외하면 소백산천문대의 시상 측정 장치와 동일하다.

두 개의 구멍 중 한 개에 부착된 프리즘은 표 1과 같은 사양을 가지며 국내 업체에서 주문 제작되었다. 프리즘은 550nm에서 굴절률이 1.518로 입사각과 출사각의 차이가 0.0183도이다. LX200에 부착하는 경우에 망원경의 초점 거리가 3,408mm 이므로 초점면에 맺힌 두 개의 영상의 이론적인 거리는 0.974mm가 된다. 이 값은 보현산천문대와 소백산천문대의 대기의 요동이 만들어 낼 수 있는 가능한 거리의 차이보다 크기 때문에 두 영상이 겹칠 가능성이 없어서 시상 측정에 전혀 문제가 없다.

2.2. 검출기와 분석 프로그램

표 1. 시상 측정 장치에 사용된 프리즘의 사양

Aperture	55mm
Clear Aperture	50mm
Thickness	6mm
Flatness	$\lambda/10$
Wedge Angle	$2.1 \pm 0.1 \text{ arcmin}$
Material	BK7

보현산천문대의 시상 측정 장치와 소백산천문대의 시상 측정 장치의 차이는 검출기이다. 보현산천문대에서는 비디오카메라를 이용하여 초당 30프레임의 영상을 얻었고, 소백산천문대에서 일반 상용 CCD카메라를 사용하여 1-2초의 주기로 영상을 얻었다.

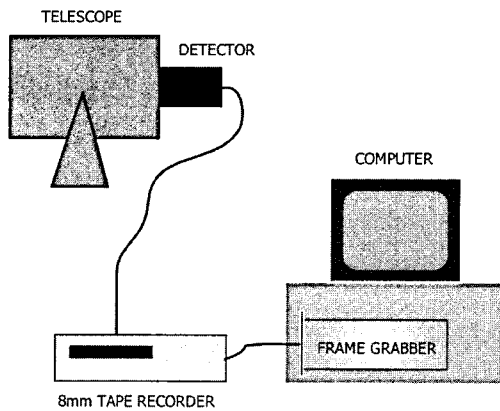


그림 3. 보현산천문대의 시상측정 장치의 개념도. 망원경에 장착된 비디오카메라의 영상은 8mm 비디오 레코더에 저장됨과 동시에 프레임 그래버가 설치된 컴퓨터에서 분석되어 시상의 크기를 실시간으로 보여준다.

보현산천문대에서 사용한 시상 측정 장치는 그림 3에 보이는 것처럼 망원경에 장착된 비디오카메라와 8mm 테이프 레코더, 그리고 프레임 그래버(frame grabber)가 있는 컴퓨터이다. 비디오카메라는 VIXEN사의 B05-3M으로 사양은 표 2와 같으며, 프레임 그래버는 National Instrument사의 IMAQ의 PCI 1408을 사용하였다.

보현산천문대의 경우 데이터 분석은 비디오카메라의 영상을 프레임 그래버를 사용하여 실시간으로 읽어 들인 후 이를 분석하는 방법을 취하였다. 이때 사용한 분석 컴퓨터는 펜티엄 II 400Mhz 모델이었다. 분석프로그램은 Lab window사에서 구매한 Lab Window CVI에서 C-언어

표 2. 보현산천문대 시상측정 장치의 비디오카메라

Model	VIXEN B05-3M
Image Device	Monochrome 1/3" CCD
Pixels	NTSC type 512x512
Minimum	0.05lux
Sensitivity	
Gain Control	Continuous manual adjustment

를 사용하여 자체 개발하였으며, 분석 알고리즘은 SR95가 제시한 방법을 따랐다.

소백산천문대 시상측정 장치에 사용한 검출기는 SBIG사의 ST-4 이다. ST-4 CCD는 192x164픽셀( $13.75 \times 16 \mu\text{m}$ )의 크기를 가지며 가능한 최대 자료 송신 속도는 57.6 kbits/sec이며 부분 영역(sub-array)을 읽는데 걸리는 시간은 부분 영역의 크기에 따라 1 - 2초 정도가 소요된다. 우리 DIMM 마스크의 경우 두 이미지 사이의 거리가 60각초 정도 떨어지도록 편향시키기 때문에 읽어내는 부분 영역의 크기가 50x150 픽셀로 한 자료를 얻는데 걸리는 시간은 약 1.8초가 소요된다. ST-4를 구동하고 두 이미지 사이의 거리자료를 얻는 소프트웨어는 호주 MSSSO에서 Turbo Pascal로 구성한 것이며(Wood 등 1995), 얻어진 자료를 이용 시상크기를 계산하는 프로그램은 자체적으로 만들었다.

3. 측정 결과

3.1. 보현산천문대

보현산천문대에서의 시상 측정은 1999년 9월 27일에 수행되었다. 관측 천체는  $\alpha$  PsA (= Formalhaut)이며 밝기는 1.2등급이며 관측당시 고도는 대략 24도 정도 이었다. 관

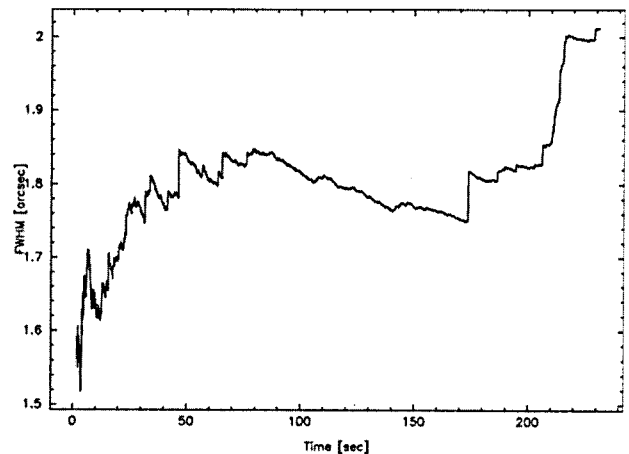


그림 4. 보현산천문대의 시상 측정 결과

측시각은 5분 정도로 길지 않은 시간이다. 1미터 망원경 설치를 위해 신축된 두개의 돔 중 한 개에 시상 측정 장치를 설치하여 시상을 측정하였기 때문에 관측된 시상은 대기 시상뿐만 아니라 돔 내부의 효과도 포함하고 있다.

그림 4에서 보듯이 보현산 천문대에의 시상은 대략 1.5 각초에서 2각초의 범위로 변화하고 있음을 알 수 있으며, 시상이 빠른 속도로 변하고 있음을 알 수 있다. 관측 시간이 너무 짧아서 시상의 변화 양상이 확실히 나타나지는 않지만, 짧게는 10초 정도에서 길게는 3분정도의 시상 변화 형태를 볼 수 있다.

보현산천문대에서 DIMM을 이용한 실시간 시상 측정이 아직은 시험 단계이기는 하지만 성공적으로 작동하고 있음을 확인하였다. 차후 이 장치를 보완하여 시상측정 장치를 상시 운용하여 보현산천문대의 대기 상태를 조사하기를 기대한다. 데이터의 양이 매우 적기 때문에 자세한 분석은 할 수 없었지만 현재 보현산천문대에서 운용하고 있는 기상 측정 장비와 같이 분석하면 바람이나 기타 날씨와의 관계도 알 수 있을 것으로 본다.

3.2. 소백산천문대

관측에 사용되는 별은 2등급보다 밝은 별을 사용했다. 그 이유는 빛을 통과하는 구멍이 지름 50mm인 작은 구멍이므로 입사하는 광량이 무척 작고 ST-4 CCD의 빛 감응도 또한 작기 때문에 배경 하늘에 비해 별로서 인식되기 위해서 밝은 별을 사용해야만 한다.

표 3. 관측 로그

관측천체	$\alpha$ Aur (=Capella; $V=0.08$ )
관측일	01:10~03:30 KST Oct. 11 2002
관측일	00:00~00:20 KST Oct. 12 2002
평균시상	2.0arcsec

관측은 소백산천문대의 서쪽 돔 내부에 설치되어 있는 Meade LX-200 망원경에 관측 장비를 설치하여 두 차례 이루어졌다. 그림 5에 나와 있는 시상의 크기는 1.8초당 1프레임씩 얻어지는 자료를 20프레임씩 모아서 처리를 했으므로 약 36초간의 평균 시상을 의미한다. 온도, 습도, 풍속 등의 기상자료는 소백산천문대에 설치된 자동기상관측시스템(심경진 등, 2001)에 기록된 같은 날 자료를 이용했다. 시상관측에 사용된  $\alpha$  Aur가 시간이 흐를수록 남중하고 있는데 시상의 크기도 작아지고 있음을 볼 수 있다. 시상크기와 기상자료와의 관계는 좀 더 많은 관측 자료를 요구하며 현재 시상크기가 작아짐은 단순히 남중에 따른 대기투과효과로 생각된다.

4. 논의

시상측정 장치를 보현산천문대와 소백산천문대에 설치하여 시상을 측정하였다. 시상 측정 결과를 관측지에 설치된 주 망원경과 동시에 비교하지는 않았지만, 두 곳 모두 관측지의 평균값에 해당하는 시상을 제시하고 있으므로 시상측정 장치 성능에 문제가 없다고 판단된다. 그러나 주 망원경과의 시상값을 직접 비교하여 시상 측정 장치에서 얻어진 시상 값의 정밀도를 반드시 확인하여 보정해야 할 것이다. 더 많은 관측으로 이 시상 측정기의 안정성과 정밀도를 확보한다면 상시 운용해도 문제가 없을 것으로 보인다.

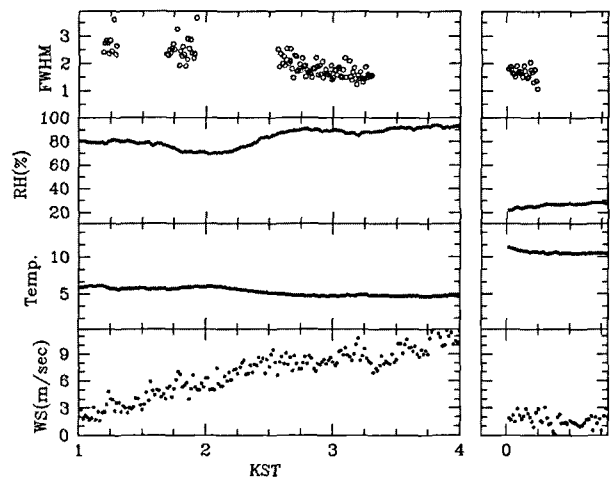


그림 5. 2002년 10월 11일(좌)과 12일 (우) 소백산천문대의 기상 및 시상. 시상의 크기는 각초이며, 온도는 섭씨이다.

소백산천문대에 설치된 시상 측정기는 보현산천문대에 설치된 측정기에 비해 상대적으로 간단하므로 시상의 평균값처럼 시상의 정보만을 계산하고자 하는 경우에 적합하다고 판단된다. 보현산천문대에 설치된 시상측정 장치는 시상 값 뿐만 아니라 상층에 부는 바람으로 인해 빠른 속도로 변하는 시상의 변화를 측정 가능하기 때문에 향후 적응광학 시스템 도입에 필요한 시상 정보를 제공하는데 매우 유용하다고 생각한다.

본격적인 시상 측정 시스템은 대기의 시상만을 측정할 수 있도록 독립된 위치에 설치되어야 하며, 기상 정보를 동시에 기록 하여야 한다. 시상측정 장치의 운영은 망원경 제어뿐만 아니라 돔의 원격 조정 그리고 기상 모니터링 시스템과 밀접하게 관계하고 있어서 어려운 일이지만, 현재 축적된 기술을 모은다면 충분히 운영할 수 있을 것으로 본다.

참고 문헌

심경진 외. 2001, 소백산천문대 천체관측 및 운영, 한국천문연구원 연구보고서

Sarazin, M., and Roddier, F. 1995, A&A, 227, 294  
Wood, P. R., et al. 1995, PASA, 12, 97