

## 보현산천문대 중분산분광기의 성능 분석 PERFORMANCE TEST OF THE BOAO MEDIUM DISPERSION SPECTROGRAPH (MDS)

김강민<sup>1,2</sup>, 김여정<sup>1</sup>, 윤태석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원 보현산천문대, <sup>2</sup>경북대학교 천문대기과학과

KANG-MIN KIM, YEOJEONG KIM, AND TAE SEOG YOON

<sup>1</sup>Bohyunsan Optical Astronomy Observatory, Korea Astronomy Observatory: kmkim@boao.re.kr

<sup>2</sup>Dept. of Astronomy & Atmospheric Sciences, Kyungpook National University

(Received Dec. 12, 2000; Accepted Jan. 12, 2001)

### ABSTRACT

We tested the characteristics of the BOAO Medium Dispersion Spectrograph (MDS) such as the CCD capabilities, wavelength shift by gravity direction variation, slit illumination function and efficiency. Then we calculated the appropriate exposure time to obtain the given S/N ratio for several given magnitudes. Also the remaining problems to be improved were discussed.

*Key words:* astronomical instrumentation – spectrograph: medium dispersion, performance

### I. 서 론

1992년에 도입한 보현산천문대 1.8 m 망원경용 중분산분광기는 1996년 보현산천문대의 준공 이후에도 내재된 여러 문제들 때문에 관측연구에 투입되지 못하고 여러 해 동안 개선작업과 시험 관측을 반복해 왔다. 그동안 개선한 주요 작업은 CCD와 듀어의 교체, 분광기 초점을 쉽게 찾을 수 있도록 하트만 마스크와 편홀 슬릿의 제작 등이다. 그리고 기존 슬릿을 재연마하고 폭 고정형 슬릿을 만들었으며 각 인코더에서 새어 나오는 빛도 차단하였다. 또한 셔터도 교체하고 조준경(collimator) 일부도 개선하고 전체적으로 광축을 다시 맞추었다. 격자도 다양하게 구입하였는데 현재 사용 가능한 격자의 종류와 특성, 분해능을 포함한 분광기의 주요 제원 및 특성은 김강민(1999)에 제시되어 있다. 그 후, 오랫동안 문제가 되었던 플랫 문제를 150 mm 카메라로 바꿈으로써 해결하여, 2000년 상반기부터 중분산분광기를 관측연구에 활용하고 있다.

본 연구의 목적은 실험실 시험과 시험 관측을 통해 얻어진 중분산분광기의 현재 성능과 한계를 정리하여, 보현산천문대의 중분산분광기로 관측을 수행하고자 하는 연구자들이 과제 선정에 참고하도록 하는 데 있다. 여기에서 제시된 시험 항목으로는 직진성 등을 포함한 CCD 성능, 중력 방향에 따른 스펙트럼 파장 이동 정도, 슬릿 조명 함수 (slit illumination function)와 분광기의 효율 등이며, 등급별로 노출시간에 따른 S/N비도 계산해 보았다.

### II. 중분산분광기의 CCD 특성

중분산분광기에 사용하는 CCD는 24  $\mu\text{m}$  크기의 1024×1024개 소자에 가시광 무반사 코팅이 되어있는 TK1024이다. 뜨거운 소자나 죽은 소자는 없는 걸로 판단된다. 실험 결과(박병곤 1998)에 따르면 이 CCD는 관측시 설정온도인 섭씨 -100도에서 이득(gain)은 2.55  $e^-$ /ADU, 읽기잡음(readout noise)은 7.39  $e^-$ , 전하이동효율(charge transfer efficiency)은 행 방향이 0.9999871, 열 방향이 0.9999888이다. 분광기 내의 광유출을 포함한 CCD의 암잡음은 10분에 16.7 ADU (0.071  $e^-$ /초/소자)로 나타나 예전에 나타났던 분광기 인코더에서의 광유출은 거의 차단되었음을 확인하였다.

CCD에서는 일부 영역만 읽고 저장하는 기능이 있어 읽기(readout) 시간과 정보 저장 용량을 줄일 수는 있으나, 이 경우 오버스캔(overscan) 영역의 안정에 문제가 있어 전체 영역을 사용하는 것이 바람직하다. CCD의 바이어스 준위(bias level)는 보현산천문대의 영상관측용 1 k, 2 k CCD 등 다른 CCD에 비해 높게 나타나는데 평균은 12,840~12,880 ADU 사이의 값이며 하루동안 바이어스 준위 평균의 표준편차는 1.2 ADU 정도로 나타났다.

CCD의 직진성을 시험하기 위해서 먼저 분광기의 플랫용 텅스텐 할로겐 램프를 광원으로 하고, 0.4초부터 3초까지 노출시간을 증가시키면서 한 노출시간당 5 프레임씩의 영상을 얻었다. 그 후 우주선을 제거한 평균에서 빛이 강한 부분만 선택(60×300 소자)하여 얻은 결

**표 1.** CCD의 직진성 실험 결과. 이들은 바이어스를 보정한 값이며 평균(표준편차)과 최고값의 단위는 ADU이다

노출 (초)	평균 (표준편차)	정규화 값 (표준편차)	최고값 (정규화 값)
0.2	4555 (244)	1.040 (0.080)	5087(1.037)
0.4	8860 (482)	1.011 (0.079)	9905 (1.009)
0.6	13194 (725)	1.004 (0.078)	14767 (1.003)
0.8	17559 (970)	1.002 (0.079)	19664 (1.001)
1.0	21903 (1218)	1.000 (0.079)	24549 (1.000)
1.2	26338 (1473)	1.002 (0.079)	29461 (1.000)
1.4	30823 (1734)	1.005 (0.080)	34529 (1.005)
1.6	35265 (1949)	1.006 (0.079)	39347 (1.002)
1.7	37406 (2038)	1.005 (0.078)	41620 (0.997)
2.0	42657 (1510)	0.974 (0.064)	44833 (0.913)
2.5	46108 (666)	0.842 (0.048)	47352 (0.772)
3.0	46890 (575)	0.714 (0.041)	47918 (0.651)

과를 표 1에 나타냈다. 표 1에서 첫째 줄은 노출시간, 둘째 줄은 바이어스 보정 후의 평균 ADU와 그 표준편차이며 셋째 줄은 각 영상을 1초 노출 영상으로 나누고 다시 노출시간으로 나눠 정규화한 영상의 평균 값과 그 표준편차이다. 정규화값의 표준편차는 Bevington & Robinson (1992)에 따라 계산하였다. 바이어스 보정 후의 평균 ADU가 37,400 ADU를 넘어가면서부터 직진성에서 벗어나는 것이 보인다. 선형에서 벗어나기 시작하는 ADU값을 18,000개 소자의 통계로부터 구할 경우, 그중 제일 큰 ADU값을 갖는 소자는 이미 선형성에서 벗어나 있는 경우도 있을 수 있다. 따라서 보다 자세한 값을 얻기 위해서는 최고 ADU 값을 보이는 소자를 대상으로 조사를 할 수도 있다. 넷째 줄은 영상 내의 최고 ADU 값과, 이를 1초 노출값인 24,549 ADU와 노출시간으로 나눠 얻은 정규화 값이다. 여기에서는 최고값 하나만 사용하였기 때문에 편차를 구할 수가 없어 1.7초에서의 정규화 값 0.997이 유의한 차이인지 확인이 어려우나 39,300 ADU까지는 선형성이 보이고 있다. 따라서 관측 시 평균 바이어스 값인 12,860 ADU를 포함하여 최고값이 52,000 ADU 이상 되지 않도록 주의하여야 하며 가급적 50,000 ADU 이하에서 사용하는 것이 바람직하다. 이때 관측 가능한 CCD의 용량은 바이어스 값을 빼고 95,000 e<sup>-</sup> 정도가 된다.

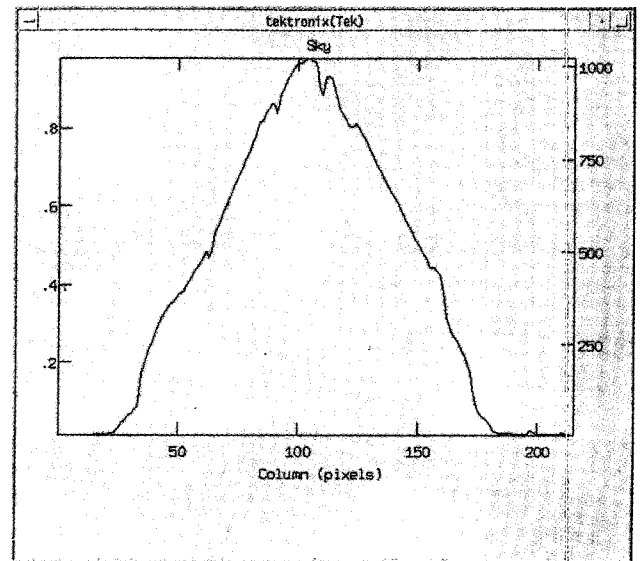
**III. 중력방향에 따른 스펙트럼의 위치 이동**

망원경의 카세그레인 초점에 붙어있는 분광기는 망원경의 방향에 따라 휘거나 분광기 광학계의 쏠림 정도가

달라지므로 CCD 소자에 맺히는 스펙트럼 선의 특정 파장의 위치가 조금씩 변하는 것이 일반적이다. 이 변화량을 측정하기 위해 망원경 고도를 60도로 유지하면서 망원경 영상 되돌리개(derotator)로 분광기를 돌려가며, 135부터 995번째 소자 사이에 나타나는 32개 방출선의 위치 이동 정도를 조사하였다. 표 2에서는 망원경 영상 되돌리개의 각도에 따른 파장 위치의 이동량을 되돌리개 각 40° 일때를 기준으로 계산한 것으로 최대 16소자(~0.38 mm)나 움직이는 것으로 나타났다. 망원경 되돌리개의 각도가 특정 범위에서 파장 이동량이 급변하는 것으로 나타났는데 이것은 분광기가 이 부근에서 광학계, 특히 조준경 부경과 격자 어셈블리의 쏠림이 크게 나타날 수 밖에 없는 구조이기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 분광기를 사용할 때 파장 결정에 보다 유의하여야 하며, 이를 위해 분광관측 전후에 비교광원을 한번씩 노출시켜 주는 것이 필요하다. 또한 이것은 분광기 파장 이동이 급변하는 되돌리개 각 부근에서는 장시간 노출시 파장 결정에 문제가 있을 수 있음을 보여주고 있다.

**IV. 슬릿 조명 함수**

중분산분광기의 슬릿상 위치에 따른 상대적 효율을 보여주는 슬릿 조명 함수를 그림 1에 나타내었다. 긴 슬릿 분광기에서는 좋은 효율을 보이는 부분이 넓게 나타날수록 좋으나 중분산분광기에서는 하나의 정점을 가진 산 모양으로 나타났다. 따라서 점광원을 관측할 때에는 별이 슬릿 상에서 이 정점 위치에 오도록 맞추어야 효율



**그림 1.** 중분산분광기의 슬릿 조명함수.

**표 2.** 망원경 되돌리개의 각도에 따른 분광기의 파장 이동량

되돌리개 각도(°)	227	272	317	407	452	497	542	587
파장이동량(소자)	15.3	12.1	2.1	0	4.6	8.0	15.5	15.8
표준편차(소자)	0.32	0.14	0.09	0	0.06	0.08	0.16	0.34

표 3. 분광기 효율 관측시 사용한 격자, 설정한 중심 파장, 관측일 및 관측한 분광 표준성

격자	중심파장	관측일	관측대상
1200 V	5000 Å	1999. 10.22, HR718, HR1544, HR8634, 10.25 HR9087	
1200 R	6000 Å	2000. 3.17	HR4468, HR4963, HR5501
300 V	5500 Å	1999.10.23	HR718, HR1544, HR3454
		1999.10.24	HR718, HR1544, HR7950, HR8634, HR9087

이 상대적으로 높게 나타나게 된다. 이러한 모양의 슬릿 조명 함수는 중분산분광기의 조준경 구조에 그 원인이 있다. 역 카세그레인(Dall-Kirkham Cassegrain) 방식으로 되어있는 조준경의 부경은 격자 앞에 위치하여 격자로 들어가는 조준경 일부를 차단한다. 따라서 조준경 부경을 작게 만들어야 하는데 부경이 작을수록 비축에서 오는 빛을 잡아주지 못하고 상가림(vig-netting)이 생기기 때문에 슬릿 조명 함수가 넓게 평평하지 못하고 정점이 있는 산 모양을 하게 된다. 슬릿은 길이가 25 mm가 되어 시야각 3°이 넘지만 CCD에서 최고 효율의 절반 이상의 효율을 보이는 부분은 85 소자로 시야각 1.9°이 된다. 슬릿 조명 함수가 매끄럽지 못하고 약간 툽니 모양을 보이는 것은 슬릿 칼날면이 매끄럽지 않기 때문이다.

### V. 분광기의 효율

분광기의 효율은 분광표준성(Hammuy et al. 1992)을 관측하고 이를 등급으로 환산하여, 제시된 표준성의 파장별 등급과의 차로부터 계산하였다.

효율 관측시 사용한 격자와 설정한 중심파장, 관측일, 관측한 분광표준성을 표 3에 제시하였다. 중분산분광기에 사용되는 8개의 격자는 mm당 격자홈 갯수와 최적 효율 파장(blazed wavelength) 영역을 붙여 이름을 정하였다(김강민 1999). 예를 들어 300V, 1200V, 1200R은 격자홈이 mm당 300, 1200, 1200개이며, 격자 최적 파장이 5000 Å, 5000 Å, 6000 Å 임을 나타낸다. 관측할 때 1200V와 1200R에서는 최적 효율 파장을 중심파장으로 설정하였으며 슬릿에서의 빛 손실을 최대한 없애기 위해 슬릿을 6" 만큼 열었다.

별의 플럭스  $f_v$  (단위: erg/cm<sup>2</sup>/sec/Hz)와 그 진동수에서의 등급  $m_v$  사이의 관계는 식 (1)과 같다(Hayes 1985). 여기에 보현산천문대 망원경의 직경(1.8 m), 노출시간  $t$  (초), CCD의 이득  $G(2.55 e^-/ADU)$ , 측정된 ADU값  $A$  등을 넣고 변환시키면 식 (2)와 같이 된다. 여기서  $\lambda$ 는 파장(Å),  $\Delta\lambda$ 는 CCD 한 소자에 담기는 파장범위(Å),  $m_\lambda$ 는 그 파장에서의 등급이 된다.

$$m_v = -2.5 \log f_v - 48.59 \quad (1)$$

$$m_\lambda = 26.855 - 2.5 \log \left[ \frac{A}{t} \times \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] \quad (2)$$

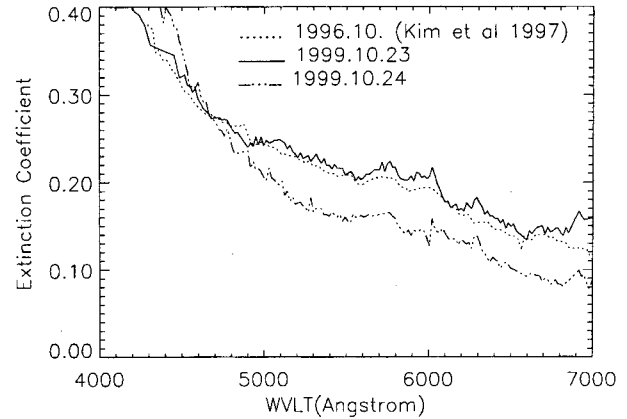


그림 2. 보현산천문대 대기 소광계수.

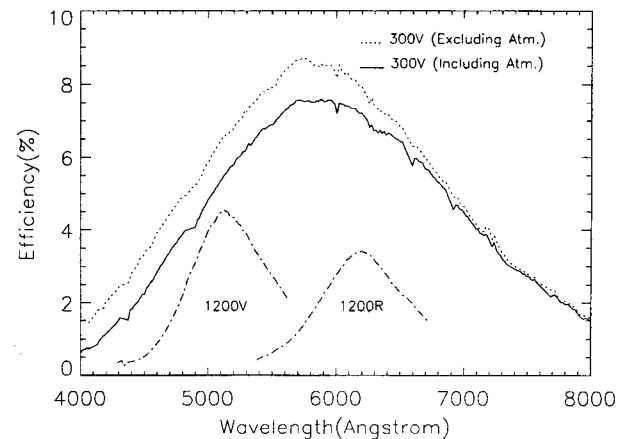


그림 3. 중분산분광기의 총효율.

$m_\lambda$ 의 대기량(airmass)에 따른 변화로부터 대기 소광계수  $k_\lambda$ 를 구하였다. 그림 2에 1999년 10월 23일(실선)과 10월 24일(쇄선)의 대기 소광계수를 1996년 10월(점선)의 것(김강민 등 1997)과 함께 나타내었다. 1999년 10월 23일의 결과는 1996년 10월의 결과와 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이번 관측에서 대기 소광계수의 오차범위는 5700 Å보다 긴 파장에서는 0.02 이내, 그보다 짧은 쪽은  $k_\lambda$ 값의 10% 정도로 나타났다.

대기에서부터 망원경, 분광기와 CCD까지의 효율, 즉 분광기 총효율  $Q_\lambda$ 는 (2)식에서 구한 등급  $m_\lambda$ 와 대기 밖에서의 파장별 표준성 등급  $m'_\lambda$ 와의 차이로부터 식 (3)과 같이 계산된다.

$$Q_\lambda = 10^{-0.4(m_\lambda - m'_\lambda)} \quad (3)$$

그림 3은 이렇게 구한 분광기의 총효율을 나타낸 것이다. CCD 양 바깥쪽으로는 효율이 많이 떨어지며 최고 효율의 절반 효율을 보이는 부분은 CCD 1024개 소자에서 가운데 700 소자 정도이다. 이것은 분광기의 결상계인 150 mm 카메라의 상가림에 크게 기인하는데 카메라의 시야 보정렌즈 지름은 CCD 크기와 같은 24 mm인데, 초점은 보정렌즈로부터 19.6 mm 떨어져 있으며 카메라

표 4. 고도 50°에서 각 격자에 나타난 분광기의 최대 총효율

격자	중심파장	최대 효율
1200 V	5000 Å	4.4 %
1200 R	6000 Å	3.4 %
300 V	5500 Å	7.6 %

의 초점비가  $f/1.5$ 로 빨라 CCD 주변부에서 상가림이 심하게 나타나게 된다.

300V에서는 대기보정을 한 (즉, 망원경+분광기+CCD) 효율(점선)과 고도 50°에서 대기를 포함한 (즉, 대기+망원경+분광기+CCD) 효율(실선)을 제시하였다. 청색 영역에서는 대기 소광계수가 크기 때문에 두 경우의 차이가 뚜렷하나 적색 영역에서는 대기 소광계수가 작아 그 차이가 작게 나타났다. 1200V와 1200R에서는 고도 50°에서 대기를 포함한 효율이다. 1200V는 1200R 보다 효율이 약간 높게 나타났으나 300R보다는 많이 떨어진다. 망원경의 고도가 50°일 때 각 격자별로 분광기의 최대 총효율은 표 4와 같다.

## VI. 등급별 노출 시간에 따른 S/N비

CCD에서 단위시간당 검출되는 별빛의 전자수  $N(\lambda$  파장에서)은 그 파장에서의 ADU 값  $A$ , 노출시간  $t$ , 이득  $G$ 와 식(4)의 관계에 있으며, 여기에 식 (2)와 식 (3)을 대입하면 식 (5)가 된다.

$$N = \frac{A}{t} \times G \quad (4)$$

$$= 1.41 \times 10^{11} \frac{\Delta\lambda}{\lambda} 10^{-0.4m_{\lambda}^2} \times 0.75 Q_{\lambda} \quad (5)$$

V장에서는 슬릿을 충분히 열고 측정한 효율이었으나 식 (5)에서 0.75를 곱한 것은 시상 크기만큼 슬릿을 열었을 때 슬릿 턱에서의 빛손실을 고려한 것이다.

$S$ 를 배경하늘의 밝기,  $w$ 를 별 스펙트럼이 CCD 공간방향으로 차지하는 소자수,  $D$ 를 암잡음,  $R$ 을 읽기잡음이라 하면 S/N비는 (6)식으로 표현된다(Pizzella and Piemonte 2000).

$$S/N = \frac{Nt}{\sqrt{Nt + St + w^2Dt + w^2R^2}} \quad (6)$$

여기에서는 관측자가 자신의 관측 프로그램에 적절한 노출시간을 가늠할 수 있도록, 앞에서 구한 분광기의 효율을 적용하여 노출시간에 따른 S/N비를 계산하여 보았다. 식 (6)에서  $S$ 를 20등급(이때는 식 (5)에서 0.75를 고려하지 않았음),  $w$ 를 4개,  $D$ 를  $0.071 e^-/px/sec$ ,  $R$ 을  $7.39 e^-$ 이라 하고,  $m_{\lambda}^2$ 가 8, 10, 12 등급인 경우, 노출시간에 따른 S/N비를 계산하였으며 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 실선은 300V, 점선은 1200V, 쇠선은 1200R을 나타내는데 300V에서는 1200V와 2등급 차이 나는

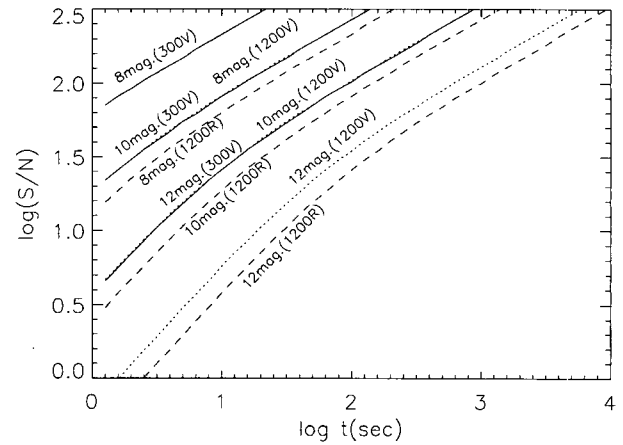


그림 4. 300V, 1200V, 1200R 격자에서 8, 10, 12 등급의 노출 시간에 따른 S/N비.

것이 거의 겹쳐 나타나며, 300V로 14등급인 경우도 1200V로 12등급인 경우와 거의 겹쳐 나타났다. 그리고 8~12등급에서는 S/N비가 250이 넘으면 CCD의 직진성 한계인 95,000  $e^-$ 에 다다르게 된다.

그림 4는 중분산분광기의 최대 효율에서 계산한 값이다. 분광기 효율을 구할 때 선택한 분광 표준성은 밝은 별(3.4-5.7등급)이라 노출시간이 짧아서 망원경의 추적 오차의 영향이 거의 없었으나 실제 관측에서는 주로 어두운 별을 대상으로 하기 때문에 오랜 노출시간동안 별이 슬릿에서 빠지는 경우도 있다. 또한 좋은 분해능을 얻기 위해서는 광량 손실과 균형을 맞추면서 슬릿을 가능한 한 작게 열기 때문에 슬릿 턱에서의 빛 손실도 발생한다. 그리고 중심파장도 최적효율 파장으로 설정하여 얻은 값이고 슬릿 조명함수가 최고인 지점에 별을 놓고 관측하였기 때문에 실제 관측시에는 제시된 값보다는 작은 효율로 나타날 것이다. 따라서 S/N비도 관측 조건에 따라 그림 4보다는 작게 나타날 것이다.

## VII. 결론 및 토의

본 연구에서 보현산천문대 중분산분광기의 CCD 특성, 망원경 방향에 따른 스펙트럼 파장 이동, 슬릿 조명 함수, 분광기의 총효율을 측정하고 노출시간에 따른 S/N비를 제시하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

1) CCD는 이득  $2.55 e^-/ADU$ , 읽기잡음  $7.39 e^-$ , 암잡음  $0.071 e^-/초$ 이며, 직진성을 고려하여 바이어스 포함 50,000 ADU 이하에서 관측하는 것을 추천한다.

2) 망원경 방향에 따른 스펙트럼 파장의 최대 이동은 16 소자나 되어 장시간 노출시에는 파장 결정에 문제가 생길 수 있다.

3) 슬릿 조명함수가 뾰족한 산모양을 하고 있어 이 지점에 별이 오도록 하여야 높은 효율이 기대되며 최대 관측 시야각은  $2'$ 이다.

4) 대기를 고려한 분광기의 최대 효율은 격자에 따라

3.4~7.6%이며 실제 관측시에는 관측 조건에 따라 이보다 낮게 나타날 것이다.

관측한 날들은 비록 쾌청한 기상은 아니었으나 보현산의 전형적인 맑은 날에 해당하므로 노출시간에 따른 S/N 비를 구하는데는 이러한 대기효과까지 고려하여야 실제에 가까운 값이 될 것으로 판단하고 계산하였다.

분광기의 효율은 청색 영역에서 4300 Å 중심으로 1200V로 측정을 시도하였는데 과도하게 저효율(최대 0.3%)로 나타났다. 그러나 이 영역은 대기 소광계수도 크고, 관측일의 기상도 그다지 좋지 않아, 자료의 산란도가 크게 나타난 걸로 판단하여 그 결과를 본 연구에 포함시키지 않았다. 그러나 그동안의 경험으로 청색 영역의 효율은 적색 영역의 1/3~1/5에 해당하는 것으로 추정된다. CCD는 표준 코팅이 되어있어 4000 Å에서 7600 Å까지는 80% 이상의 효율을 보이기 때문에 이 영역에서의 저효율은 CCD의 특성과는 상관이 없다.

분광기 효율이 전체적으로, 특히 청색 영역에서 낮게 나타났다. 이러한 저효율은 중분산분광기의 구조(김강민, 1999), 특히 조준경과 카메라에 기인한다. 슬릿에서 나온 빛이 조준경이 되어 격자에 들어가기까지 세 개의 조준경을 거치며, 조준경은 조준경 부경에 의해 일부 가려진다. 또한 카메라는 초점비가 f/1.5로 빠른 빛이 되도록 하기 위해서 주·부경 사이(두께 56.5 mm)를 유리로 채웠는데, 결상하는 데까지 이 두꺼운 유리층을 세 번이나 통과하게 되어 특히 청색 영역 파장의 빛 효율이 떨어지게 된다. 그리고 중분산분광기에 준비된 격자의 최적 효율 파장이 주로 5,000 Å 이상이며 최적 효율 파장보다 긴 파장에서는 효율이 완만하게 떨어지나 짧은 파장에서는 급격하게 떨어지는 데 청색 영역은 최적 효율 파장 보다 짧은 쪽 영역에 위치한다. 이러한 중분산분광기의 구조가 효율을 떨어뜨리는 이유들이라 할 수 있다.

현재 중분산분광기는 이상에서 제시한 것 이외에도 다음과 같은 문제가 있다.

(a) 망원경의 자동추적기(Autoguider)를 사용할 수 없는 경우가 자주 있다.

망원경의 자동 추적기가 움직일 수 있는 범위는 영상 관측(f/8) 시에는 40'이 된다. 즉 40' (반경 20분) 시야에서 한계등급(f/8에서는 11등성)보다 밝은 추적별(guide star)을 선택하면 된다. 그러나 중분산분광기는 f/15 부경을 사용하고 슬릿 모니터링을 자동추적기 거울이 가리면 안되기 때문에 반경 5~10분 사이에서 추적별을 선택해야 하므로 이 범위 안에 한계등급보다 밝은 별이 없는 경우가 자주 있으며, 이때는 망원경의 기계적인 추적을 그대로 따르면서 가끔 수동으로 추적을 보정해야 하므로 정확한 추적이 어렵다.

(b) 슬릿 모니터링의 불편

현재 슬릿 모니터링 카메라로 사용하고 있는 Star 1 CCD는 18등성까지 확인이 가능하나 이정도 어두운 별은 30초 이상 노출하여야 하며 열잡음 때문에 더 이상의

노출로 보다 어두운 별의 확인은 어렵다. 또한 망원경의 구동과 Star 1이 연계되지 않아 30초 노출 후에 영상을 보고 망원경 구동을 보완한 후 다시 확인하려면 30초를 또 기다려야 하는 불편함이 있다. 관측대상 별을 슬릿에 정확히 넣으려면 현재는 별도의 프로그램으로 망원경의 고도, 방위각 수정량을 계산해 줌으로써 이러한 불편을 보완하고 있다. 그리고 현재 슬릿 모니터링 화면을 파일화 하거나 프린트 할 수 있는 장치가 없다. 중분산분광기의 제작사가 충분한 주변기기/프로그램을 공급하지 않아 생긴 이러한 문제는 Star 1이 생산 중단 된 지 오래되어 현재는 구입이 곤란하므로 슬릿 모니터링 카메라 전체를 바꿔야 해결할 수 있다.

(c) 망원경에 분광기 탈·부착 하기

망원경 유지, 관리하는데 있어서도 분광관측을 위해서는 f/15 부경이 필요하여, f/8 부경을 떼었다가 다음의 영상관측을 위해서 다시 f/8 부경을 붙이고, 광축을 다시 맞춰야 하는 등의 불편이 있다.

따라서 차후에 중분산분광기를 개선하거나 새로 분광기를 제작할 때는

- 1) 초점비가 f/8이면서 효율이 좋은 조준경
- 2) 청색 영역에서도 좋은 효율을 보이고 상가림이 없는 카메라를 갖추고
- 3) 망원경 방향에 따라 스펙트럼의 파장 위치 이동이 최소화 되어야 하고
- 4) 효율적인 슬릿 모니터링 시스템을 갖추고
- 5) 넓고 고른 슬릿 조명합수를 가지도록 해야 한다.

또한 시선속도의 정밀성 측정도 시도하였으나 실패하였다. 이것은 관측한 시선속도 표준성들이 거의 초속 70 km/sec 이내라서 현재 가능한 분산 중 제일 고분산인 56 Å/mm로 관측을 하여도 50 km/sec 정도의 정밀도로 측정할 수밖에 없기 때문(Kitchin 1995)으로 추정된다.

## 참고문헌

- 김강민, 1999, "보현산천문대 중분산분광기 사용자 설명서", 보현산천문대, ([http://www.boao.re.kr/spec/spec\\_manual.html](http://www.boao.re.kr/spec/spec_manual.html))
- 김강민 손동훈 형식 윤태석, 1997, 천문학논총, 12, 167
- 박병곤, 1998, 개인 면담
- Bevington P. R. & Robinson D. K. 1992, "Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences", 2nd edition, McGraw Hill, chap. 3
- Hamuy M., Walker A. R., Suntzeff N. B., Gigoux P., Heathcote S. R., & Phillips M.M 1992, PASP, 104, 533
- Hayes D. S. 1985, in "Calibration of Fundamental Stellar Quantities", ed. D.S.Hayes, L.E. Pasinetti, & A.G. Davis Philip (Dordrecht, Reidel), p225
- Kitchin, C. R. 1995, Optical Astronomical Spectroscopy, IOP Publishing Ltd, p203
- Pizzella A. & Piemonte A. 2000, "The Boller and Chivens Spectrograph at the ESO 1.52 m Telescope-User's Manual", ESO