PUBLICATIONS OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY
18: 81 ~ 86, 2003

보현산천문대 긴슬릿 분광기의 성능 분석
PERFORMANCE TEST OF THE BOAO LONG SLIT SPECTROGRAPH (LSS)

김강민[1], 이병철[1], 한인우[1], 윤태석[2]
[1]한국천문연구원, [2]경북대학교 천문대기과학과

[1]Kang-Min, Kim, [1]Byeong-Cheol, Lee, [1]Inwoo Han, [2]Tae Seog Yoon
[1]Ko rea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea
[2]Dept. of Astronomy and Atmospheric Sciences, Kyungpook National University
(Received: December, 3, 2003; Accepted: December 19, 2003)

ABSTRACT

We tested the characteristics of the newly made Long Slit Spectrograph (LSS) of the BOAO which replaced the Medium Dispersion Spectrograph (MDS) in the year of 2003. Performance test results on the spectrogram shift by gravity direction variation, slit illumination function, efficiency and the precision of the radial velocity measurements show the capabilities of the LSS are much improved in every respect comparing with those of the MDS.

Keywords : astronomical instrumentation - spectrograph : long slit, performance

1. 서론

1992년에 도입되었던 보현산천문대 1.8 m 망원경용 중분산 분광기는 내재한 여러 문제들 때문에 1.8 m 망원경이 설치된 1996년 이후 곧바로 관측에 활용되지 못하고 개선과 시험관측을 반복해오다가 2000년 상반기부터 비로소 관측 연구에 활용되기 시작하였다.

그러나 저효율과 시선 속도의 정밀성을 비롯하여 슬릿 조명 함수(slit illumination function), 중력 방향에 따른 파장 이동 등 여러 가지 문제가 여전히 남아있어(김강민 외, 2001), 이를 이용하여 본격적인 분광 관측 연구를 수행하기에는 문제가 있었다.

보현산천문대에서는 1996년부터 스타 프로젝트의 일환으로 광섬유를 이용한 고분산 에셀 분광기 (BOES; BOhyunsan Echelle Spectrograph)를 개발하면서 기존 중분산 분광기를 대체할 새로운 분광기도 함께 제작하기로 하였다. 새로 제작하는 긴슬릿 분광기는 BOES의 CIM(Cassegrain Interface Module)에 포함시키고 슬릿 모니터링과 비교광학계는 공유하여 사용하도록 하였다. 긴슬릿 분광기를 포함하여 CIM의 구조에 대해서는 Kim et al.(2002)에 정리하였다.

여기에서는 새로 만든 긴슬릿 분광기의 성능을 이제는 퇴역한 중분산 분광기의 성능과 비교하여 봄으로써, 긴슬릿 분광기의 나아진 특성을 기술하고자 한다. 성능 비교 항목으로는 김강민 외(2001)에서 중분산 분광기의 성능 분석시 선정되었던 중력 방향에 따른 스펙트럼의 위치 이동 정도, 슬릿 조명 함수, 효율로 하였으며, 중분산 분광기에서는 측정이 어려웠던 시선속도 정밀성을 포함하였다. 긴슬릿 분광기를 제작하면서 CCD를 포함한 듀어와 격자 어셈블리는 기존 중분산 분광기의 것을 그대로 사용하였기에 긴슬릿 분광기 CCD의 특성 등은 김강민 외 (2001)를 참조하면 된다.

2. 중력 방향에 따른 스펙트럼의 위치 이동

망원경의 카세그레인 초점에 붙어 있는 분광기는 망원경의 고도와 영상 되돌리개(image derotator)의 회전각에 따라 분광기에 작용하는 중력 방향이 바뀌게 된다. 이에 따라 분광기 광학계에 미세 쏠림이 발생하여 스펙트럼 영상이 항상 CCD의 일정한 위치에 오지 않는다. 이 때문에 카세그레인 분광기에서는 목적 천체 관측 전후에 파장 비교광원(긴슬릿 분광기에서는 FeNeArHe 램프)을 한번씩 찍고 이를 내삽하여 파장 관계식을 결정한다.

긴슬릿 분광기에서 스펙트럼 위치 이동량을 확인하기 위해서, 슬릿 대신에 핀홀을 설치하고, 망원경 고도 40, 50, 60도에서 영상 되돌리개를 회전 범위인 154도부터

표 1. 망원경 고도와 영상되돌리개 각도(DA)에 따른 분광선 이동량과 그 오차(괄호안에 표시). X 이동은 공간 방향의, Y 이동은 파장 방향의 이동량을 나타내는데, 단위는 모두 화소이다.

	고도40도		고도50도		고도60도	
DA	X이동	Y이동	X이동	Y이동	X이동	Y이동
154	-1.54(0.03)	3.14(0.03)	-1.77(0.05)	2.61(0.05)	-1.90(0.03)	2.06(0.04)
180	-2.25(0.02)	3.69(0.04)	-2.42(0.02)	3.27(0.04)	-2.48(0.04)	2.57(0.07)
210	-2.75(0.03)	2.73(0.06)	-2.55(0.03)	2.00(0.05)	-2.23(0.02)	1.24(0.05)
240	-2.30(0.03)	0.25(0.05)	-2.37(0.04)	0.25(0.06)	-2.24(0.02)	0.01(0.06)
270	-2.26(0.04)	-2.04(0.05)	-2.14(0.03)	-1.80(0.06)	-1.82(0.03)	-1.66(0.05)
300	-1.30(0.03)	-5.00(0.07)	-1.30(0.04)	-4.32(0.09)	-1.26(0.03)	-3.63(0.06)
330	0.04(0.03)	-6.90(0.07)	0.58(0.02)	-5.71(0.08)	0.89(0.03)	-4.75(0.07)
360	2.24(0.02)	-7.54(0.08)	1.20(0.02)	-6.70(0.07)	1.74(0.01)	-5.42(0.08)
390	2.96(0.03)	-6.14(0.07)	2.26(0.04)	-4.31(0.06)	1.96(0.02)	-2.91(0.04)
420	3.14(0.03)	-3.30(0.01)	2.68(0.02)	-2.99(0.01)	2.29(0.03)	-2.30(0.01)
450	2.50(0.03)	0.25(0.06)	2.06(0.03)	0.69(0.07)	1.69(0.03)	1.06(0.06)
480	2.08(0.04)	3.28(0.10)	1.69(0.03)	3.11(0.10)	1.32(0.03)	2.88(0.10)
510	1.10(0.06)	5.20(0.12)	0.69(0.04)	4.73(0.11)	0.45(0.05)	4.30(0.11)
540	0.12(0.05)	5.92(0.16)	-0.06(0.07)	5.48(0.13)	-0.13(0.04)	4.79(0.13)
570	-0.47(0.05)	4.97(0.15)	-0.07(0.06)	4.23(0.12)	1.19(0.07)	2.70(0.09)

570도까지 돌리면서 비교광원 스펙트럼을 얻었다. 여기에서 나타나는 밝은 6개 분광선 위치의 공간 방향과 파장 방향의 이동량을 조사하여 그 결과를 표 1과 그림 1에 나타내었는데, 오차는 0.2 화소 이내이었다.

그림 1에서 x축은 영상 되돌리개의 회전각이며 y축은 CCD 화소 단위로 나타낸 스펙트럼의 위치 이동량이다. V자 모양의 그래프는 파장 방향으로의 이동량이고 누운 S자 모양의 그래프는 공간 방향의 이동량인데, 실선, 점선, 쇄선은 각각 고도가 40, 50, 60도 일때를 나타낸다. 참고로 중분산 분광기에서 고도 60도일 때 파장 방향으로의 이동량을 일점 쇄선의 V자 형 그래프로 함께 제시하였다.

그림에서 보듯이 스펙트럼은 공간 방향 보다는 파장 방향이, 그리고 망원경 고도가 낮을수록 분광기의 광학계가 불안정하여 이동량이 크게 나타났다. 최대 파장 이동량은 고도 40도(실선)에서는 14화소, 60도(쇄선)에서는 9화소로 나타나 예전의 중분산 분광기(고도 60도에서 16화소) 보다도 훨씬 작게 나타났다.

여기에서 긴슬릿 분광기 카메라의 초점거리는 300 mm로, 중분산 분광기 카메라의 초점거리 150 mm보다도 2배나 긴 것을 고려하면, 긴슬릿 분광기는 중분산 분광기보다도 중력에 따른 광학계의 안정성이 3배 이상 개선되었음을 보여준다. 이것은 4절에서 제시되는 시선속도 정밀성 측정에 바로 영향을 주게 된다.

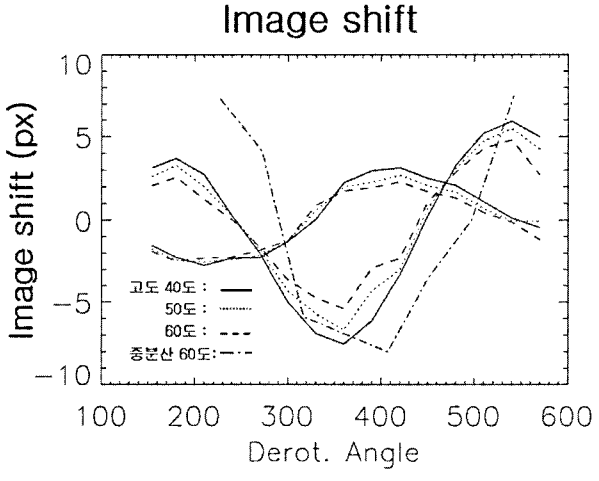

그림 1. 망원경 고도와 영상되돌리개 각도에 따른 스펙트럼 영상의 이동.

3. 슬릿 조명 함수

슬릿 조명 함수는 배경 하늘처럼 넓은 시야에서 밝기가 일정한 광원을 슬릿에 고르게 비쳐주고 얻은 스펙트럼의 공간방향(즉 슬릿 방향)에 따른 밝기 변화를 살펴본 것으로 슬릿상의 위치에 따른 상대적 효율을 보여주는 것이다. 그림 2에는 중분산 분광기(위)와 긴슬릿 분광기(아래)의 슬릿 조명함수를 비교하여 나타내었다. 중분산 분광기에서는 y축이 0부터 1까지인데 비하여 긴슬릿 분광기는 y축 값이 0.875부터 1이다.

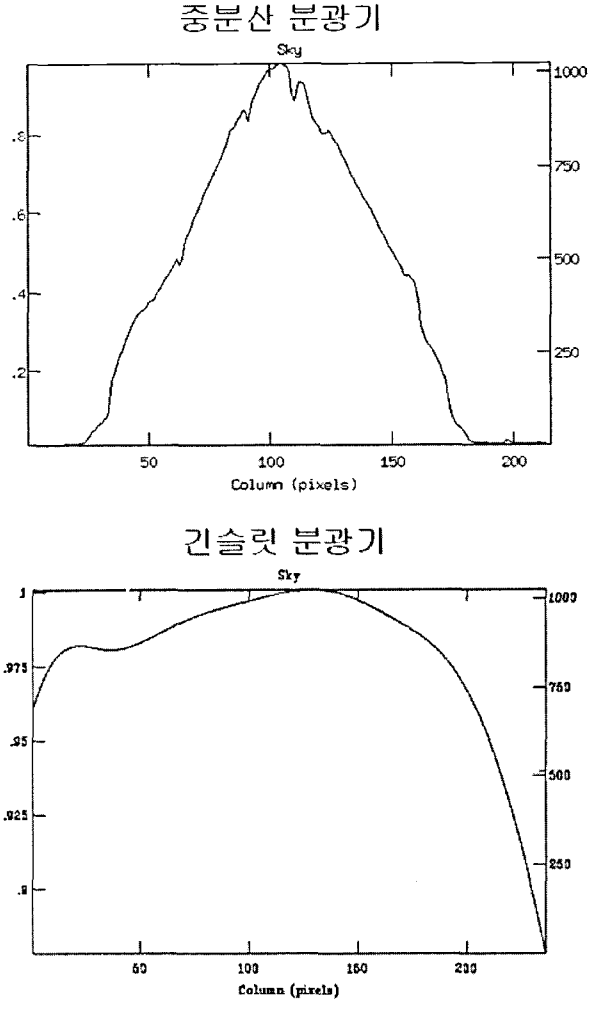

그림 2. 중분산 분광기(위)와 긴슬릿분광기(아래)의 슬릿 조명 함수. 중분산 분광기에서는 y축이 0부터 1까지이고 긴슬릿 분광기는 0.875부터 1인 점에 유의한다.

중분산 분광기에서는 뾰족한 산 모양의 슬릿 조명 함수가 나타나 슬릿 중앙 부근에서 조금만 벗어나도 효율이 급속하게 떨어졌었다. 즉, 슬릿 중앙에서의 효율에 비해 50 % 이상의 효율을 보이는 공간 범위가 65화소(시야 : 1.9분)에 불과하여 크기가 있는 외부 은하나 성운 같은 천체를 관측하기에 적합하지 않았다. 또한 별 같은 점 천체도 효율에서 손실을 보지 않기 위해서는 슬릿 중앙에 두고 관측해야 하였다. 그러나 긴슬릿 분광기에서는 최고 효율의 90 % 이상 효율을 보이는 공간 범위가 250 화소(시야 3분)이 되어 진정한 의미의 긴슬릿 분광기라 할 수 있다.

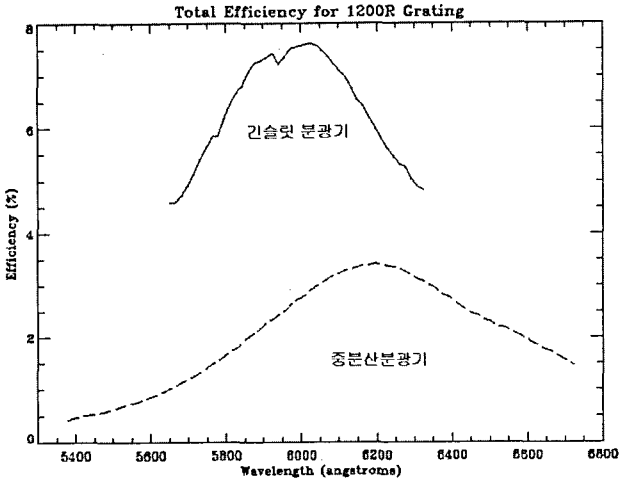

그림 3. 격자 1200R과 중심파장 6000 Å에서 긴슬릿 분광기와 중분산 분광기의 효율 비교.

4. 긴슬릿 분광기의 효율

긴슬릿 분광기로 관측할 때는 중심 파장과 분산에 따라 격자 선정과 격자 회전각을 달리 해주어야 하기 때문에, 격자별로 전 파장 영역에 걸쳐 긴슬릿 분광기의 효율을 전부 측정하는 것은 너무나 많은 관측 시간이 소요되어 거의 불가능하다고 할 수 있다. 여기에서는 중분산 분광기 효율 측정에서 사용하였던 것과 동일한 격자(1200R)와 중심 파장(6000Å)을 택하여 긴슬릿 분광기의 효율을 측정하고 이를 중분산 분광기의 효율과 비교(그림 3)함으로써, 개선된 긴슬릿 분광기의 전체적 효율을 짐작할 수 있도록하였다.

긴슬릿 분광기의 효율 측정을 위한 관측은 2002년 6월 28일 밤에 수행하였으며, 관측 방법과 효율 계산은 김강민 외(2001)와 같은 방식을 따랐다. 그림 3에 나타낸 긴슬릿 분광기나 중분산 분광기 자료는 모두 대기 보정을 하지 않은 것이다. 관측시점에서의 망원경 고도는 50도 부근으로 남중 근처에서 관측한 자료를 사용하였다.

그림3에서 보듯이 긴슬릿 분광기의 대기 보정 전 최대 효율은 ~ 8 % 정도로 중분산 분광기에 비해 효율이 두

배 정도 개선된 것으로 나타났다.

실제 분광기의 효율을 추정하기 위해서는 대기 보정을 해야 한다. 관측일의 기상은 썩 좋은 편은 아니어서 대기 소광 계수와 분산이 모두 크게 나와 관측일의 대기 소광 계수를 그대로 관측 자료에 적용하기가 곤란하였다. 쾌청한 날에 구하였던 보현산 표준대기 모형(김강민 외 1997)으로 대기 보정을 하면 긴슬릿 분광기의 효율은 6000Å에서 ~ 10 %가 나오기 때문에 실제 효율은 그 이상으로 판단된다.

그림 3에서 중분산 분광기는 넓은 파장 영역을 보이는 반면 긴슬릿 분광기는 파장 영역이 좁게 나타난 것은 그만큼 긴슬릿 분광기의 분산이 높아졌기 때문이다. 즉 150 mm 카메라를 사용하였던 중분산 분광기는 1200R에서 화소당 분산이 1.32 Å/px이었으나 긴슬릿 분광기에서는 300 mm 카메라를 사용하기에 화소당 분산값이 0.66 Å/px 로 분산이 2배로 높아졌다. 따라서 중분산 분광기는 1200g/mm 격자를 사용할 때에는 한 프레임에 1300 Å을 담을 수 있으나 긴슬릿 분광기에서는 670 Å정도를 담게된 것이다.

그러나 중분산 분광기에서 사용된 슈미트 카메라는 광출구 직경이 1인치에 불과하여 한변이 24.6 mm (1024 x 24 μm)인 CCD의 양쪽 가장자리에서는 비그네팅(vignetting)과 격자 함수(blazing function)로 인하여 효율이 CCD 중앙에 비해 1/4에 불과하였으며 절반 이상의 효율을 보이는 부분은 700 화소에 불과하였다.

한편 긴슬릿 분광기에서는 렌즈형 카메라를 사용하기 때문에 비그네팅은 거의 없어 양쪽 가장자리라 할지라도 중앙의 60 % 이상에 해당하는 효율을 보이고 있다.

5. 시선속도 정밀성 측정

분광기로 천체의 시선속도를 측정할 때에 그 측정 정밀성은 분광기의 슬릿 폭, 중심 파장, 분산, 관측 자료의 S/N 비, 속도 비교성(template star)과 속도 측정 천체(object star)와의 분광형과 광도 계급의 차이 등에 따라 달라진다. 본 연구에서는 슬릿의 폭은 100 μm(시야 1.4각초), 격자는 1200R을 택하고, 중심파장은 5180 Å로 하여 화소당 분산은 0.67 Å/px로 하고, 노출시간을 충분히 주어 S/N 비가 100이 넘도록 하였다.

관측은 2003년 3월 18일에 수행하였으며, Astronomical Almanac에 나오는 시선 속도 표준성 중, F형 그룹에서 6개, K형 그룹에서 8개의 별을 택하였고 가능하면 같은 별을 두 번씩 관측하였다.

관측한 대상이 모두 시선 속도 표준성이지만 한 관측 자료를 속도 측정 천체로 하고 같은 그룹의 나머지 속도 표준성 관측자료 각각을 속도 비교성으로 하여 교차 상관(cross correlation) 방식인 xcsao(Kurtz and Mink 1998)를 이용하여 시선속도를 계산하였다. 여기에 태양과 지구의 궤도운동, 자전 운동 등을 보정하여 속도 측정 천체의 최종 시선 속도를 구한 후, Astronomical Almanac에서 제시된 시선 속도와의 차이들을 RMS로 평균을 내어 표 2(F형)와 표 3(K형)의 6번째 열인 RMS오차 란에 정리하였다. 표의 일곱 번째 열인 상대오차 란에는 같은 별을 두 번 관측한 자료에서 하나는 속도 비교성으로, 다른 하나는 시선 속도 측정 천체로 하여 마찬가지로 xcsao로 계산된 속도 차이 값이다. 각 표의 마지막 행에 제시된 RMS 평균은 이렇게 구한 각 별의 RMS 속도 오차나 상

표 2. F형 시선속도 표준성의 관측자료와 시선속도 차이. 노출과 오차 단위는 각각 초와 km/s 이다.

별이름	분광형	등급	노출	S/N	RMS오차	상대오차
HD89449	F6IV	4.79	50	189	8.9	0.2
			60	210	9.2	
HD114762	F7d	7.31	300	117	9.7	5.2
			300	117	8.9	
HD136202	F8IV-V	5.06	50	170	16.7	1.2
			50	188	15.0	
HD112299	F8V	8.66	400	49	10.8	5.2
			500	51	16.3	
HD122693	F8V	8.21	400	110	9.7	1.7
			500	113	8.8	
HD102870	F9V	3.61	30	256	10.2	2.3
			35	300	11.3	
RMS 평균					12.2	3.6

표 3. K형 시선속도 표준성의 관측자료와 시선속도 차이. 노출과 오차 단위는 각각 초와 km/s 이다.

별이름	분광형	등급	노출	S/N	RMS오차	상대오차
HD62509	K0IIIb	1.14	5	342	10.5	1.1
			5	452	9.0	
HD107328	K0.5IIIb	4.96	100	261	6.3	4.3
			100	311	9.5	
HD92588	K1sg	6.25	100	130	8.8	
HD124897	K1.5III	-0.04	1	287	6.0	8.5
			2	327	10.6	
HD90861	K2III	7.20	300	140	9.0	0.6
			350	160	9.6	
HD66141	K2IIIb	4.39	50	203	6.2	0.9
			50	203	7.0	
HD51250	K2III+B9V	5.00	70	160	6.9	1.2
			80	182	7.5	
HD81797	K3II-III	1.98	10	351	8.5	
RMS 평균					8.7	4.3

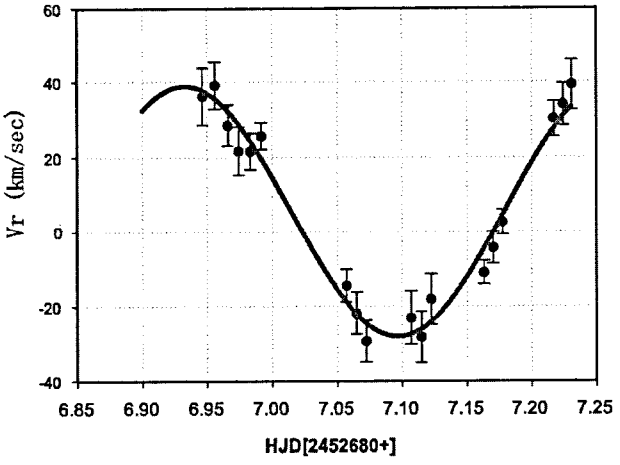

그림 4. 측정된 FG Hya의 시선속도 (단위 : km/s).

대 속도 오차의 평균값을 RMS로 계산한 값이다.

결과는 표 2(F형 별)와 표 3(K형 별)에서 보듯이 분광형이 비슷한 그룹별 관측자료에서 계산된 오차는 약 10 km/s 정도되고 같은 별 관측자료에서 얻은 상대오차는 약 4 km/s로 나왔다.

슬릿, 격자, 중심파장 등을 앞에서 제시한 것과 같은 방식으로 하여 2003년 2월 16일에는 W UMa형 식변광성인 FG Hya의 시선속도를 긴슬릿 분광기로 측정하였다. FG Hya는 M_B = 10.60, M_V = 10.01등급인 G형 별이다. 주기는 0.327835일(= 7.87시간)로 주성과 부성의 시선속도 진폭은 각각 36.0 ± 1.3 km/s와 322.4 ± 1.8 km/s (Lu and Rucinski, 1999)로 조사되었다.

관측 자료의 교차 상관 함수 (cross correlation function)에서는 주성과 부성의 시선 속도를 모두 알 수 있도록 두 개의 꼭지(double peak)가 나올 것으로 기대하였으나 부성이 주성에 비해 너무 어두운 탓인지 주성의 시선속도 하나만 나타났다. FG Hya의 시선 속도 변화의 계산 결과를 그림 4에 보였으며 여기에 이심율이 0일 때 주성의 시선속도 변화식을 겹쳐 보였다. O-C로부터 계산한 RMS 오차는 4.43 km/s로 나타났다.

이상에서 보듯이 긴슬릿 분광기의 시선속도 정밀성은 초속 5 ~ 10 km 로 볼 수 있다. 중분산 분광기로도 시선 속도 정밀성 측정을 위해 앞서 기술한 것과 같은 방법으로 그동안 여러 차례 관측하고 분석하였으나 오차가 너무 크게 나와 시선 속도 측정 정밀성을 제시하기가 어려웠다. 이것은 시선 속도 표준성의 속도 범위가 -100 ~ +70 km/s 범위에 있기에 중분산 분광기의 시선속도 측정 정밀성은 이보다 같거나 컸음을 의미한다.

중분산 분광기로는 측정이 안되었던 시선 속도 정밀성을, 같은 격자와 CCD를 사용하는 긴슬릿 분광기로는 5 ~ 10 km/s로 제시할 수 있게된 것은 초점 거리가 2배가 긴 카메라를 사용함으로 분산이 2배 높아졌다는 것과 함께 2절에서 보았듯이 광학계의 안정성이 3배 이상 개선되었기 때문으로 추측된다.

6. 결론 및 토의

새로 개발한 긴슬릿 분광기는 그동안 1.8 m 망원경의 주 분광 관측기기였던 중분산 분광기와 비교하여 볼 때 다음과 같이 성능이 획기적으로 개선되었다.

1) 스펙트럼의 위치 이동으로 확인한 광학계의 중력 쏠림에 대한 안정성이 3배 이상 개선되었다.
2) 중분산 분광기에서는 슬릿의 가장자리로 갈수록 효율이 급격하게 떨어졌는데, 긴슬릿 분광기에서는 3분 이상의 시야에서 효율이 고르게 나타나고 있다.
3) 모든 파장에서 효율을 측정한 것은 아니나 긴슬릿 분광기는 6000 Å에서 10 % 이상의 효율이 나타남을 확인하였고 중분산 분광기에 비해 2배 정도의 효율이 개선되었다고 판단된다.
4) 중분산 분광기에서는 -100 ~ +70 km/s 되는 시선 속도 표준성으로는 시선속도 측정 정밀성을 확인하기가 어려웠으나 긴슬릿 분광기에서는 1200 g/mm 격자를 사용하면 5 ~ 10 km/s 정도의 정밀성을 보이는 것으로 확인되었다.

이와 더불어 긴슬릿 분광기를 사용함으로써 중분산 분광기에서 상존하던 문제들이 다음과 같이 해결되었다.
1) 중분산 분광기는 f/15 부경을 사용하였기에 영상관측과 분광 관측을 번갈아 수행하기 위해서는 그때마다 부경을 교체하고 광축을 다시 잡아주는 불편함이 있었으나 긴슬릿 분광기는 f/8 부경을 그대로 사용하기에 기기 교체나 망원경 유지에 있어서의 불편함이 해결되었다. 또한 긴슬릿 분광기와 BOES 관측 모드로의 전환이 간편하여 5초 정도밖에 걸리지 않기 때문에 하룻밤에도 수시로 관측 모드를 변경하는 것이 가능하다.
2) f/15에서는 자동 추적기(auto-guiding)를 사용할 수 있는 시야가 제한되어 대부분 수동 추적으로 사용하였다. 그러나 긴슬릿 분광기에서는 1.8 m 망원경의 자동 추적기나 슬릿 모니터링의 자동 추적기 어느 것이나 사용이 가능하므로 특별한 경우가 아니면 자동 추적 모드에서 관측할 수 있게 되었다.
3) 중분산 분광기에서는 슬릿 모니터링에서 여러 불편함(한계 등급, 화면의 파일화 등)이 있었으나 긴슬릿 분광기에서는 이 모든 것이 해결되었다.

분광기를 이용하여 측정하는 시선속도의 정밀성은 분산, CCD 화소 크기 등에 의존한다. 긴슬릿 분광기에서 시선속도 정밀성을 ~ 4km/s로 제시한 것은 초점거리 300 mm 카메라로 1200g/mm 격자의 1차 분광선을 사용하여 27 Å/mm의 분산으로 얻은 자료를 사용하였기 때문이다.

CCD 화소 크기는 24 μm이기에 화소당 분산은 0.67Å/px 이며 이를 시선속도로 환산하면 화소당 40 km/s에 해당한다. 시선속도 측정 정밀성은 일반적으로 1/10 화소에 해당한다. 따라서 긴슬릿 분광기에서 4 km/s의 속도 정밀성이 나온 것은 이 분광기가 잘 만들어 졌음을 보이는 것이다.

긴슬릿 분광기로 더 높은 시선속도 정밀성을 얻기 위해서는 분산을 높이거나 CCD 화소 크기를 줄이는 방법이 있다. 더 높은 분산을 얻기 위해서는 카메라 초점 길이가 더 긴 것을 사용하는 방법을 제외하면, 2차 같이 더 높은 분광선을 이용하거나, 더 세밀한 홈수를 가진 격자를 채용하면 된다. 즉 긴슬릿 분광기에서 1800 g/mm 격자를 채용하면 ~ 2.6 km/s, 2400 g/mm 격자에서는 ~ 2km/s로 시선 속도 정밀성을 높일 수 있다.

앞서 V장에서는 Lu and Rucinski(1999)가 FG Hya를 DDO의 1.9 m 망원경으로 측정한 결과로 시선속도 정밀성을 1.3 ~ 1.8 km/s로 제시한 바가 있다. 이것은 분산을 10.8 Å(19 μm 화소당 분산은 0.2Å/px)로 관측한 것이며 0.2 Å는 시선속도 12 km/s에 해당하므로 우리 긴슬릿 분광기와 마찬가지로 1/10 화소의 정밀성을 가지고 있음을 알 수 있다.

기존 중분산 분광기는 성능이 보다 뛰어난 긴슬릿 분광기가 2002년에 완성됨으로 퇴역하게 되었으며 2003년부터는 긴슬릿 분광기가 관측 연구에 활용되고 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 "분광관측 시스템 활용 지원 및 중장기 관측 연구(M1-0222-00- 0005)"와 한국과학재단의 목적기초연구 (과제번호 R01-2001-000-00026-0(2001) 및 R01-2001-000-00026-0 (2002)) 지원으로 수행되었읍니다.

참고문헌

김강민, 손동훈, 형식, 윤태석, 1997, 천문학논총 **12**, 167
김강민, 김여정, 윤태석, 2001, JKAS **34**, 41
Kim, K. M., Jang, B. H., Han, I., Jang, J. G., Sung, H. C., Hyung, S., Chun, M. Y., Yoon, T. S., Vogt, S. S., 2002, JKAS **36**, 221
Kurz, M.J., Mink, D.J., 1998, PASP **110**, 934
Lu, W., Rucinsky, S.M., 1999, AJ **118**, 515