

근접쌍성 AG Virginis의 분광학적 연구

김호일^{1†}, 이충욱^{1,2}, 이재우^{1,2}, 손미림^{1,2}

¹한국천문연구원

²충북대학교 자연과학대학 천문우주학과

A SPECTROSCOPIC STUDY OF THE CLOSE BINARY AG VIRGINIS

Ho-Il Kim^{1†}, Chung-Uk Lee^{1,2}, Jae Woo Lee^{1,2}, and Mi Rim Sohn^{1,2}

¹Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

²Dept. of Astronomy & Space Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

E-mail: hikim@kasi.re.kr

(Received September 13, 2005; Accepted November 4, 2005)

요 약

2004년 3월 25일부터 4일 동안 보현산천문대의 1.8m 망원경과 BOES(Bohyunsan Optical Echelle Spectrograph)를 사용하여 AG Vir의 고분산 분광관측을 수행하고, 전위상에 걸쳐 총 59개의 스펙트럼을 얻었다. 쌍성계의 시선속도를 얻기 위하여, 교차상관함수(CCF; Cross-Correlation Function)와 선평증가함수(BF; Broadening Function)를 관측된 스펙트럼의 분석에 사용하였다. 이때, 교차상관함수 분석을 통하여 주성의 시선속도만을 얻을 수 있었던 반면, 선평증가함수 분석을 통하여 두 성분별의 시선속도를 모두 구할 수 있었다. 우리는 분광 궤도요소($K_1=90.5\text{km/s}$ 와 $K_2=258.8\text{km/s}$)와 Bell, Rainger, & Hilditch(1990)의 측광학적 해로부터 AG Vir의 절대 물리량을 다음과 같이 산출하였다. 즉, $M_1 = 1.99M_\odot$, $M_2 = 0.62M_\odot$, $R_1 = 2.21R_\odot$, $R_2 = 1.36R_\odot$, $L_1 = 13.17L_\odot$, 그리고 $L_2 = 3.47L_\odot$. 우리가 구한 각 성분별의 질량과 반경은 Bell, Rainger, & Hilditch(1990)의 값보다 더 크고, 광도 또한 더 밝다. 발표된 모든 시선속도곡선을 재분석한 결과, AG Vir의 시스템 속도는 약 $\pm 8\text{km/s}$ 의 비교적 큰 편차를 나타낸다. 그러나 이 변화가 Qian(2001)이 제안한 제3 천체의 광시간 효과에 의해 일어난다고 단정 지을 수 있는 근거를 찾을 수는 없었다.

ABSTRACT

We performed a new high-resolution spectroscopy of AG Vir for 4 nights from 25 March 2004 using the BOES (Bohyunsan Optical Echelle Spectrograph) attached to the 1.8-m reflector at Bohyunsan Optical Astronomy Observatory, and obtained a total of 59 spectra where all orbital phases are covered. To get the radial velocities of the binary system, both method of the CCF (Cross-Correlation Function) and the BF (Broadening Function) were applied to the analysis of all the observed spectra. From these, the CCF could calculate the radial velocities of the primary star alone, while the BF could determine those of the primary and the secondary components. New absolute dimensions were deduced with the combination of our spectroscopic orbital elements ($K_1=90.5\text{km/s}$ 와 $K_2=258.8$) and the photometric solutions of Bell, Rainger, & Hilditch (1990): $M_1=1.99M_\odot$, $M_2=0.62M_\odot$, $R_1=2.21R_\odot$, $R_2=1.36R_\odot$,

[†]corresponding author

$L_1=13.17L_\odot$, and $L_2=3.47L_\odot$. Our absolute parameters are larger and brighter than those derived from Bell, Rainger, & Hilditch (1990). We re-analyzed all the previous radial-velocity curves of AG Vir and, as a result, can see that its system velocity scatters largely up to $\pm 8\text{km/s}$. However, we, at present, cannot determine this as the light-time effect due to the third body, which was suggested as a cause of the orbital period changes by Qian (2001)

Key words: eclipsing binary, AG Vir, spectroscopy, radial velocity, absolute dimension, light-time effect, system velocity

1. 서 론

Guthnick & Prager(1929)에 의해 변광성으로 처음 발견된 AG Vir(HD 104350, BD +13° 2481, HIP 58605)는 분광형이 A8V인 주성과 F0~6인 반성이 약 $0.^d6427$ 의 공전주기로 원궤도 운동하는 근접쌍성계(Shaw 1994)이다. 이 별의 광도곡선은 주극심(특히, 위상 $0^p.00$ 와 $0^p.04$ 사이)에서 특이한 밝기변화를 보이고, 위상 $0^p.25$ 의 밝기가 위상 $0^p.75$ 의 밝기보다 $0.^m06\sim 0.^m09$ 정도 더 밝은 O'Connell 효과를 보인다. 이러한 광도변화의 원인을 규명하기 위하여 여러 차례에 걸쳐 광전 관측(Wood 1946, Szczepanowska 1958, Fliegel 1963, Binnendijk 1969, Blanco & Catalano 1970, Niarchos 1985, Kaluzny 1986, Michaels 1988, Bell, Rainger, & Hilditch 1990)이 이루어졌다. 한편, AG Vir의 분광관측은 Sanford(1934), Hill & Barnes(1972), 그리고 Bell, Rainger, & Hilditch(1990, 이하 BRH로 약함)에 의해 수행되었고, Sanford(1934)와 Hill & Barnes(1972)의 저분산 분광관측은 주성에 대한 시선속도곡선만을 얻었다. BRH의 중분산 분광관측의 경우에도 1988년 4월 28일부터 4일 동안의 관측으로부터 단지 13점의 두 성분에 대한 시선속도만을 획득하였을 뿐, 전위상에 걸쳐 골고루 관측이 이루어 지지 않았다. BRH는 AG Vir의 1990년 이전 연구 결과를 자세히 정리하고, 그들의 V 광전 광도곡선과 이중 시선속도곡선을 분석하여 AG Vir가 채택한 흑점 모형(hot spot과 cool spot)에 의존하며 두 성분이 로쉬로브를 거의 채운 분리형 쌍성계(a marginal state of contact)이거나, 접촉도(f)가 약 48%인 과접촉쌍성계(deep-contact configuration)일 것으로 유추하였고, 각각의 경우에 대한 절대 물리량을 산출하였다.

최근에, Qian(2001)은 AG Vir의 궤도 공전주기가 포물선 모양의 영년 주기감소에 주기와 진폭이 각각 $40.^y9$ 와 $0.^d0032$ 인 규칙적인 주기변화가 중첩되어 변화한다고 제안하였다. 그는 AG Vir의 규칙적인 공전주기 변화가 보이지 않는 제3 천체에 의한 광시간 효과에 의해 생성된 것으로 해석하고, 이 천체의 광시간 궤도를 원궤도로 가정하여 제3 천체의 최소 질량을 $0.079M_\odot$ 로 계산하였다. Qian(2001)이 제안한 것처럼, AG Vir의 궤도 공전주기가 제3 천체에 의해 주기적으로 변하고 있다면, 쌍성계의 질량중심은 삼중성계의 질량중심 주위로 궤도운동을 할 것이므로 분광관측에서 얻은 AG Vir의 질량중심 시선속도는 $40.^y9$ 의 주기로 시간에 따라 변할 것이다.

우리는 이 연구를 통하여 충분한 시간 분해능으로 전위상에 걸쳐 골고루 관측된 시선속도곡선을 얻어 이 분광자료와 더불어 이전에 출판된 모든 시선속도곡선을 분석함으로써 보다 신뢰할 수 있는 분광궤도 요소와 절대 물리량을 제시하고자 한다. 또한, 이 분석을 통하여 산출한 AG Vir의 질량중심 시선속도가 Qian(2001)이 제안한 바와같이 제3 천체에 의한 것으로 간주할 수 있는 주기적인 변

화를 하는지 살펴보고자 한다.

2. 관측과 자료처리

2004년 3월 25일부터 28일까지 4일간 보현산 천문대 1.8m 망원경과 BOES를 이용하여 AG Vir의 분광관측을 수행하고 총 59개의 스펙트럼을 얻었다. BOES는 카세그레인 초점면에서 광섬유를 이용하여 천체의 상을 분광실로 가져와서 분광을 수행 함으로써, 망원경 뒷면에 분광기를 부착하는 방식의 분광기와는 달리 관측중 망원경의 방향이 바뀌어도 관측된 영상의 CCD 표면에 놓이는 각 픽셀에 따른 비교광원의 스펙트럼이 격자를 지나는 별빛의 위치가 항상 일정하기 때문에 스펙트럼의 파장보정 영상은 CCD 표면에서 항상 같은 위치에 놓이게 된다. 또한, 이로 인하여 망원경의 후면에 부착하는 분광기와는 달리 파장보정에 사용하는 Th-Ar 비교광원을 대상천체의 관측 전후에 매번 획득하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다. 그러나, 우리는 비교광원의 변이에 대한 검토를 위하여 관측 시작 전과 관측 종료 후 각각 2회에 걸쳐 비교광원 영상을 10장씩 획득하고, 스펙트럼선의 변화를 검토한 결과 CCD 표면에서 관측된 비교광원의 스펙트럼 위치는 약 0.01\AA 의 표준편차로 안정적인임을 확인하였다.

BOES는 3개의 각각 다른 지름을 가진 광섬유를 가지고 있으며, 그날의 시상에 따라 광섬유의 직경을 결정하여 사용한다(Kim et al. 2002). 관측당시의 시상을 고려하여 우리는 $300\mu\text{m}$ 직경을 갖는 1번 광섬유를 사용하였고, 관측이 진행되는 동안 슬릿을 모니터링하여 광섬유 안에 천체가 정확히 놓이도록 하였다. AG Vir의 관측과 더불어 시선속도 표준성으로 HD89449(F6IV)을 사용하고, 플럭스 보정을 위하여 HR5501(B9.5V)과 HR3454(B3V)을 매일 2장씩 관측하였다. 시선속도 표준성은 관측 대상과 분광형이 비슷하고 관측성 근처에 위치한 것을 선택하였다. AG Vir의 공전 주기가 약 0.64일 정도인 것을 고려하여 노출시간은 1500초로 설정하였다. 이 노출 시간은 각 관측점이 얻어지는 샘플링 간격은 공전주기에 대하여 약 2.7% 정도에 해당하며, 스펙트럼선의 S/N 비를 고려하여 노출시간을 결정하였다.

관측자료의 처리에는 IRAF를 사용하였다. ccdred 꾸러미를 이용하여 바이어스 영상과 플랫폼영상을 만들고, echelle 꾸러미를 이용하여 2차원 스펙트럼으로부터 선스펙트럼을 얻고 파장보정을 하였다. 파장보정을 마친 선스펙트럼은 우주선(cosmicray)을 제거하고 정규화(normalization) 한 후 금속선이 많이 보이는 $4360 \sim 4435\text{\AA}$ 과 $4540 \sim 4600\text{\AA}$ 영역을 잘라서 저장하였다.

3. 시선속도곡선의 산출과 분석

3.1 시선속도곡선의 산출

근접쌍성계 성분별들의 시선속도는 교차상관함수(CCF; Cross-Correlation Function)와 선평증가함수(BF; Broadening Function)의 분석을 통하여 얻을 수 있으며, 교차상관함수는 시선속도 표준성과 관측성의 스펙트럼들을 서로 교차상관(cross-correlation) 시켜 구하는 것으로 널리 사용되고 있는 방법이다. 그러나 관측성의 스펙트럼이 갖는 S/N 비가 충분히 크지 않은 경우에는 교차상관함수의 세기가 미약한 단점을 가지고 있다. 이에 반하여, Rucinski & Lu(1999)가 제시한 합성분리법은 특이값 분해(SVD; Singular Value Decomposition)를 이용하여 관측성의 스펙트럼에 포함된 별의 자전과 흑점 및 도플러 변이 등을 합성분리(de-convolution)하여 선평증가함수를 구하는 방법으로, AG

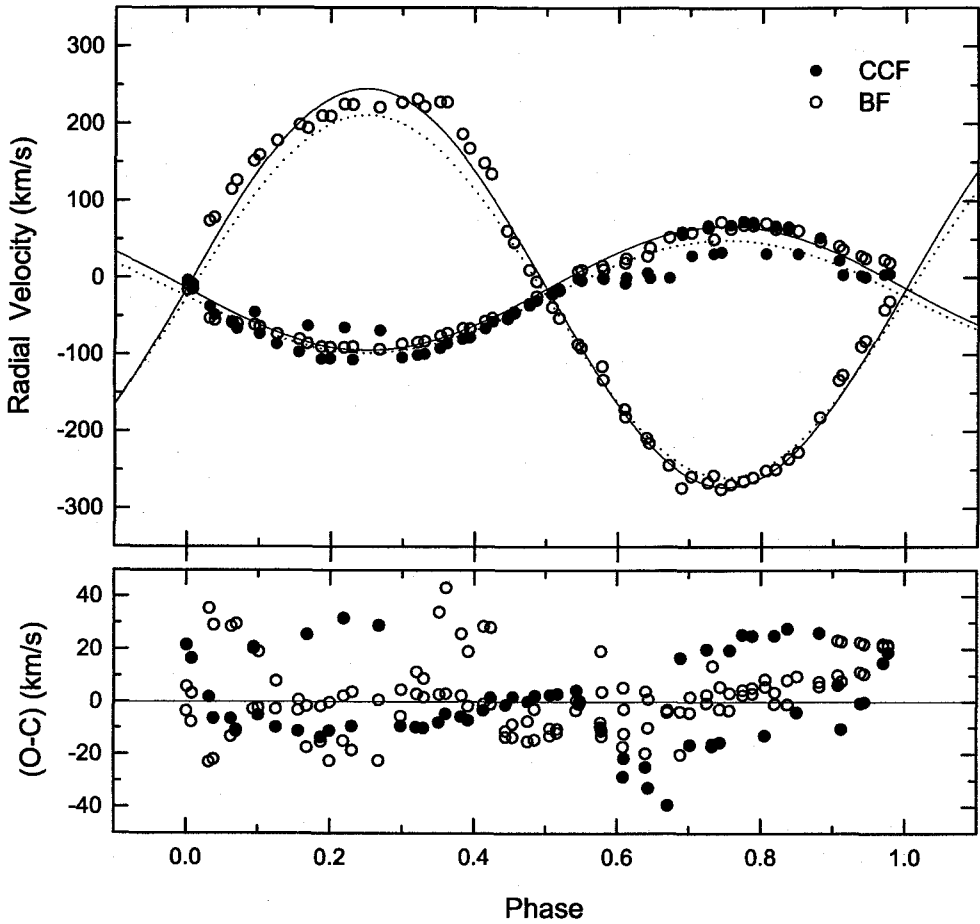


그림 1. BOES로 새롭게 관측한 AG Vir의 시선속도곡선. 닫힌 원과 열린 원은 각각 교차상관함수와 BF 방법으로 구한 관측 시선속도이고, 점선과 실선은 각 자료를 WD98 쌍성모델로 분석하여 산출한 이론적인 시선속도곡선이다. 아래 그림은 관측점에서 이론치를 빼준 잔차를 나타낸다.

Vir와 같이 근접한 두 별이 강한 조석력의 작용으로 인하여 나타나는 근접효과에 의해 변형된 스펙트럼으로부터 시선속도곡선을 구할 때 매우 효과적이다(이충욱 등 2004).

전처리 과정을 마친 4360 ~ 4435Å과 4540 ~ 4600Å 영역의 선스펙트럼을 이용하여 시선속도를 산출하였다. 이 영역에서 관측된 흡수선들은 다른 파장영역에서 관측된 흡수선들에 비해 비교적 높은 S/N 비를 가지고 있으며, 이때 분해능은 약 0.022Å/pix으로써, 이 값을 속도로 환산할 경우 한 픽셀의 변이에 해당하는 시선속도는 약 1.5km/s이다.

우리는 AG Vir와 분광 표준성인 HD89449의 선 스펙트럼을 모두 얻고, 위에서 언급한 두 영역에서 관측된 흡수선들을 이용하여 교차상관함수와 선폭증가함수를 각각 구하였다. 교차상관법을 이용한 결과는 흡수선의 세기가 미약하여 단지 주성의 시선속도만을 얻을 수 있었던 반면, 합성분리법으

표 1. 교차상관함수와 선폭증가함수로 구한 AG Vir의 시선속도.

HJD (2453090+)	CCF V ₁ (km/s)	BF		HJD (2453090+)	CCF V ₁ (km/s)	BF	
		V ₁ (km/s)	V ₂ (km/s)			V ₁ (km/s)	V ₂ (km/s)
0.0385	59.9	57.0	-273.6	2.0018	33.1	72.3	-275.2
0.0620	67.7	65.1	-266.7	2.0219	73.3	68.2	-265.0
0.0825	68.2	63.3	-269.1	2.0419	31.3	70.3	-251.2
0.1025	71.7	67.5	-260.1	2.0619	65.8	63.2	-236.1
0.1224	67.1	62.8	-249.6	2.1071	22.2	40.7	-133.4
0.1424	30.8	61.0	-227.3	2.1271	2.6	27.9	-89.5
0.1624	51.4	46.6	-182.1	2.1474	4.1	23.1	-41.5
0.1824	3.4	36.2	-126.8	2.1674	-3.5	-8.6	-15.8
0.2024	0.8	25.0	-82.2	2.1874	-37.5	-53.0	73.3
0.2239	4.8	19.4	-30.5	2.2074	-59.4	-58.3	114.6
0.2438	-11.6	-14.6	-8.8	2.2274	-45.3	-61.6	151.2
0.2638	-48.7	-55.4	77.8	2.2474	-86.4	-73.7	177.3
0.2838	-66.5	-59.6	125.8	2.2673	-96.9	-80.2	198.2
0.3038	-73.2	-64.1	158.6	2.2873	-106.0	-90.0	210.0
0.9894	-62.9	-85.8	193.7	2.3073	-64.9	-90.7	224.9
1.0097	-105.5	-90.7	209.3	3.0152	-100.8	-83.8	231.4
1.0297	-106.8	-90.1	224.4	3.0352	-91.6	-75.9	228.0
1.0535	-68.6	-93.3	220.7	3.0552	-79.7	-65.8	186.2
1.0735	-103.9	-86.2	227.3	3.0752	-65.8	-56.5	148.7
1.0935	-99.0	-82.8	221.8	3.0952	-50.8	-52.5	60.9
1.1134	-85.6	-72.6	227.7	3.1151	-35.8	-33.6	10.3
1.1334	-77.8	-66.2	167.6	3.1351	-19.0	-20.6	-38.0
1.1534	-57.2	-52.3	134.4	3.1584	-0.8	8.2	-86.4
1.1734	-43.7	-45.3	45.8	3.1804	-0.1	15.7	-115.1
1.1934	-29.1	-24.1	-4.6	3.2004	-7.1	19.6	-171.3
1.2134	-14.2	-16.0	-52.4	3.2204	6.8	28.3	-208.7
1.2334	-3.4	10.1	-90.9	3.2404	0.4	52.9	-244.0
1.2534	-1.1	11.1	-132.8	3.2604	28.9	58.8	-258.9
1.2733	0.4	25.1	-181.3	3.2803	31.4	50.0	-257.4
1.2947	-0.1	39.2	-215.3				

로 분석한 경우에는 주성과 반성의 시선속도를 모두 구할 수 있었다. 우리가 교차상관함수와 선폭증가함수를 이용하여 결정한 시선속도를 표 1에 각각 수록하였고, 그림 1에 그렸다. 이 그림에서 닫힌 원과 열린 원은 각각 교차상관함수와 선폭증가함수로 구한 관측 시선속도를 나타낸다.

3.2 분광 궤도요소와 절대 물리량

근접쌍성 AG Vir의 분광 궤도요소와 절대 물리량을 새롭게 산출하기 위하여, 표 1에 제시된 각각의 방법으로 구한 시선속도를 1998년에 개정된 Wilson-Devinney 쌍성코드(Wilson & Devinney 1971, Wilson 1998, 이하 WD98)를 사용하여 개별적으로 분석하였다. 이때, BRH의 과접촉형 쌍성해($i = 89^\circ.26 \pm 0.16$, $T_1 = 7400 \pm 200K$, $T_2 = 7000 \pm 200K$, $r_1 = 0.514 \pm 0.001$, $r_2 = 0.315 \pm 0.001$)를 WD98 인자들의 입력값으로 사용하고 질량중심 시선속도(또는, 시스템 속도 γ), 장반경(a) 그리고 질량비(q)만을 조정인자로 하여 분광 궤도요소를 구하였다. 그 결과를 교차상관시켜 구한 BRH의 분광학적 해와 함께 표 2에 제시하고, 이 분광 궤도요소로 그린 AG Vir의 시선속도곡선을 그림 1에 나타내었다. 여기서, 점선과 실선은 각 자료를 WD98 쌍성모델로 분석하여 산출한 이론적인 시선속도

표 2. AG Vir의 분광 궤도요소.

Parameter	BRH(1990)	This paper	
	CCF	CCF	BF
γ (km/s)	-6.6(1.8) ^a	-24.7(2.2)	-13.9(1.1)
K_1 (km/s)	75.7(0.6)	73.4(4.9)	80.5(2.5)
K_2 (km/s)	240.8(1.9)	235.3(5.4) ^b	258.8(2.9)
$q(=m_2/m_1)$	0.314(0.004)	0.311(0.018)	0.311(0.008)
$a(R_\odot)$	4.019(0.025)	3.922(0.169)	4.308(0.049)

^a 주성과 반성의 시선속도곡선을 개별적으로 분석하여 평균한 시스템 속도.

^b 질량비(q)와 주성의 시선속도 반진폭(K_1)에 의해 산출함.

표 3. AG Vir의 절대 물리량.

Parameter	BRH(1990)	This paper
M_1/M_\odot	1.61(0.03)	1.99(0.08)
M_2/M_\odot	0.51(0.01)	0.62(0.02)
R_1/R_\odot	2.07(0.02)	2.21(0.03)
R_2/R_\odot	1.27(0.01)	1.36(0.02)
$\log g_1(cgs)$	4.01(0.01)	4.05(0.02)
$\log g_2(cgs)$	3.94(0.01)	3.96(0.02)
L_1/L_\odot	11.48(1.12)	13.17(1.42)
L_2/L_\odot	3.47(1.15)	3.96(0.47)
$M_{bol1}(mag)$	2.10(0.12)	1.89(0.12)
$M_{bol2}(mag)$	3.41(0.13)	3.20(0.13)
$M_{V1}(mag)$	2.11(0.12)	1.90(0.12)
$M_{V2}(mag)$	3.42(0.13)	3.22(0.13)

곡선이다. 한편, 그림 1의 아래 부분은 각 방법으로 구한 관측 시선속도에서 WD98에 의한 이론치를 빼준 잔차를 나타낸다.

우리는 이 연구에서 선폭증가함수 분석을 통하여 새로 산출한 분광 궤도요소(K_1 와 K_2)와 BRH의 측광학적 해를 이용하여 AG Vir의 절대 물리량과 오차를 표 3과 같이 새롭게 산출하였다. 이때, 절대광도(L/L_\odot)와 등급(M_{bol})을 계산하기 위하여, 태양의 표면온도(T_\odot)와 복사등급($M_{bol\odot}$)은 각각 Popper(1980)가 산출한 5780K와 4^m.69를 사용하였고, 주성과 반성의 안시 절대등급(M_V)도 각각 Flower(1996)의 복사보정(BC) -0^m.01과 -0^m.02를 사용하여 계산하였다.

4. 시스템 속도의 변화

Qian(2001)이 제안한 바와 같이 제3 천체가 존재한다면, AG Vir계의 질량중심은 삼체계의 질량중심 주위로 궤도운동을 할 것이므로 여러 관측계절에 걸쳐 분광관측한 AG Vir의 시스템 속도는 광시간 궤도상의 위치에 따라 변할 것이다. 따라서 우리는 이전에 출판된 모든 시선속도곡선(Sanford 1934, Hill & Barnes 1972, BRH)을 WD98로 재분석하였고, 그 결과를 선폭증가함수로 구한 우리의 분광궤도요소와 함께 표 4에 수록하였다. 여기서, 평균 시간(mean time)은 각 분광 관측자료의 첫 번째 관측 시간과 마지막 관측시간의 평균치이고, 평균 기산점(mean epoch)은 평균 시간을 Qian(2001)의 선형 광도요소($Min\ I = HJD2439946.7463+0.64265043E$)를 이용하여 변환시킨 평균 공전횟수를 나타낸

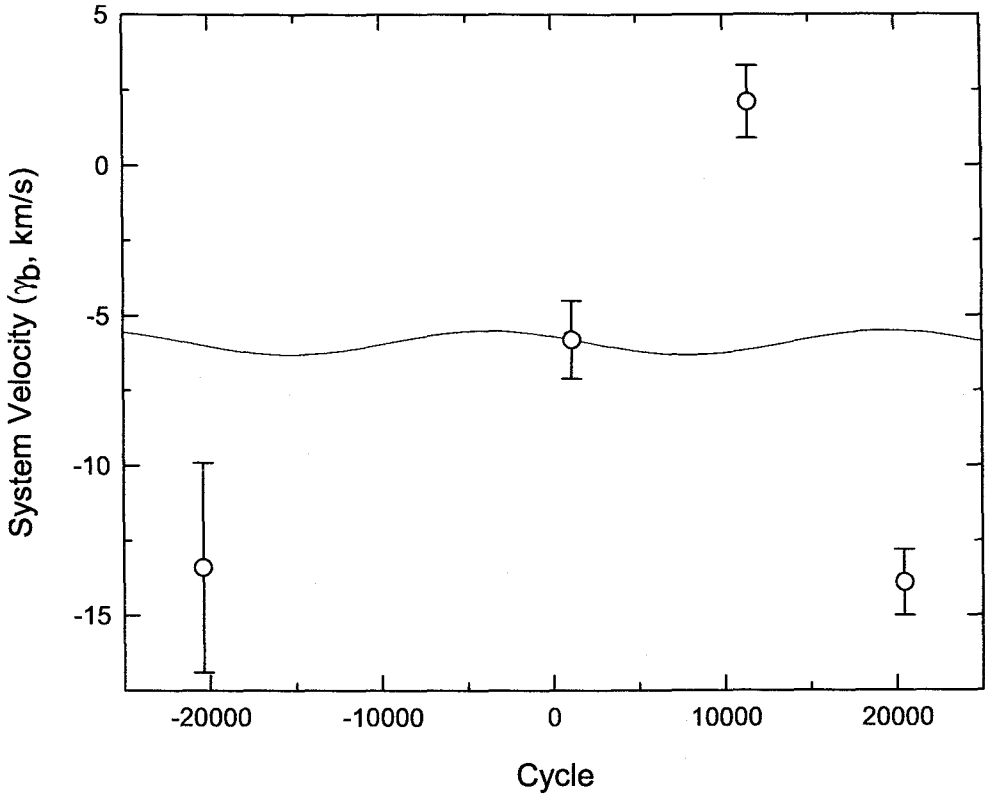


그림 2. AG Vir의 질량중심 시선속도. 원은 표 4의 관측계절별 시스템 속도이고, 실선은 이론적인 광시간 시스템 속도이다. AG Vir의 관측된 시스템 속도는 약 $\pm 8\text{km/s}$ 로 큰 산란을 보이며 변하는 반면, 이론적으로 유추한 시스템 속도의 반진폭은 0.40km/s 로 20배 정도 작다.

다. 표 4에서 보는 바와 같이, AG Vir의 질량중심 시선속도는 약 72년 동안 16km/s (최소 -13.9km/s , 최대 2.1km/s) 만큼 변화하였다. 한편, 제3 천체의 광시간 궤도를 원으로 가정하면(Qian 2001), AG Vir의 이론적인 질량중심 시스템 속도(Mayer 1990, Pribulla et al. 1999)는

$$\gamma_b = \gamma_t + K_{12}[\cos(\omega E + \omega_0)], \quad K_{12} = \frac{5156A}{P_{12}} \quad (1)$$

이다. 여기서, γ_b 와 γ_t 는 각각 쌍성계와 삼체계의 질량중심 시선속도를 나타낸다. 또한, K_{12} 는 광시간 시스템 속도곡선의 반진폭이고, A 와 P_{12} 는 광시간 궤도의 반진폭과 주기이다. 각 인수들의 단위는 다음과 같다: $\gamma_b(\text{km/s})$, $\gamma_t(\text{km/s})$, $K_{12}(\text{km/s})$, $A(\text{day})$, $P_{12}(\text{year})$. 우리는 AG Vir의 시스템 속도가 제3 천체의 광시간 궤도를 따라 변하는지를 살펴보기 위하여, Qian(2001)의 광시간 원궤도 요소($P_{12} = 40.^d9$, $A = 0.^d0032$)와 식 (1)을 이용하여 이론적인 질량중심 시선속도곡선을 계산하였다. 이때, AG Vir의 시스템 속도의 반진폭(K_{12})은 약 0.40km/s 이고, 삼체계의 시스템 속도(γ_t)는 BRH와 우리의 시스템 속도의 평균치인 -5.9km/s 를 사용하였다. 그림 2는 AG Vir의 질량중심 시선속도를 나타낸 것으로, 실선은 이 연구에서 구한 이론적인 광시간 시스템 속도이고, 열린 원은 WD98로

표 4. AG Vir의 출판된 모든 시선속도곡선을 재분석하여 산출한 분광 궤도요소.

Parameter	Sanford(1934)	Hill & Barnes(1972)	BRH(1990)	This paper
γ (km/s)	-13.4(3.5)	-5.8(1.3)	2.1(1.2)	-13.9(1.1)
$q(=m_2/m_1)$	0.311*	0.311*	0.315(0.008)	0.311(0.008)
$a(R_\odot)$	4.274(0.260)	3.797(0.095)	4.013(0.046)	4.308(0.049)
Mean time(HJD)	2426844.0830	2440680.7880	2447282.0290	2453091.6600
Mean epoch(cycle)	-20388.5	1142.2	11414.1	20454.2

*우리의 질량비를 고정인자로 사용함.

산출한 표 4의 관측계절별 AG Vir의 시스템 속도이다. 이 그림에서 보듯이, AG Vir의 관측된 시스템 속도는 이제까지 약 ± 8 km/s로 큰 편차를 보이고 있는 반면, Qian(2001)의 광시간 원궤도로부터 유추한 시스템 속도의 반진폭은 0.40km/s로 20배 정도 작다. 따라서 현재로선 제3 천체의 가설이 분광관측에 의해 지지를 받는다고 단정 지을 수 없다. 그러나 관측된 시스템 속도의 편차가 분광관측의 정확도(± 3.5 km/s 이하)에 비해 약 2배 정도 큰 것에 우리는 주목한다.

5. 요약

우리는 2004년 3월 25일부터 28일까지 총 4일간 BOES를 이용하여 AG Vir를 분광관측하였고, 전 위상에 걸쳐 총 59개의 선스펙트럼을 얻었다. 이 연구에서는 교차상관함수와 Rucinski & Lu(1999)가 제시한 합성분리를 통해 얻은 선폭증가함수를 관측된 모든 스펙트럼에 적용한 결과, 교차상관함수는 주성의 시선속도만을 얻을 수 있었던 반면 선폭증가함수로 부터 두 성분별의 시선속도를 모두 얻을 수 있었다. 이는 AG Vir와 같은 근접쌍성계에서 선폭증가함수를 얻는 것이 교차상관법보다 주성과 반성의 시선속도 오차를 더욱 최소화할 수 있다고 제안한 연구결과들과 잘 일치한다(Lu & Rucinski 1999, Rucinski & Lu 1999, Rucinski, Lu & Mochnacki 2000, Lu, Rucinski & Ogloza 2001, Rucinski et al. 2001, 2002, 2003, Rucinski 2002, Pych et al. 2004).

우리는 두 방법으로 구한 시선속도곡선을 WD98 쌍성코드를 사용하여 분광학적 해를 산출하고, 선폭증가함수 분석에 의한 분광 궤도요소와 BRH의 측광학적 해로부터 AG Vir의 절대 물리량을 새롭게 산출하였다. 표 3에 제시한 것처럼, 우리가 산출한 각 성분별의 질량과 반경은 BRH의 값보다 더 크고, 광도 또한 더 밝다. 우리와 BRH의 교차상관함수 분석에 의한 분광 궤도요소는 오차 내에서 잘 일치하지만, 선폭증가함수 분석에 의한 두 성분의 시선속도 반진폭 K_1 와 K_2 는 교차상관함수에 의한 반진폭보다 각각 약 6km/s와 21km/s 정도 더 크다(표 2 참조). 이 차이의 주요한 원인은 시선속도 산출 방법(교차상관함수와 선폭증가함수)에 기인한 것으로 여겨진다. 선폭증가함수는 성분별의 자전, 흑점효과 및 도플러변이 등으로 인한 영향이 최소화되는 반면, 교차상관함수는 이들의 영향을 그대로 포함하고 있어, 우리가 선폭증가함수 분석을 통하여 산출한 시선속도 및 이를 적용하여 구한 절대 물리량이 다른 방법으로 구한 값보다는 신뢰도가 높을 것으로 생각한다.

한편, 이 연구에서는 Qian(2001)이 제안한 제3 천체의 존재 여부를 파악하기 위하여, AG Vir의 출판된 모든 시선속도를 WD98을 이용하여 동일한 방법으로 재분석하였다. 그 결과, AG Vir의 관측 시기별 시스템 속도는 분광관측의 정확도에 비해 약 2배 정도 큰 산란을 보이지만, 이것을 제3 천체의 존재 가능성을 입증하는 것으로 보기에는 자료가 부족하였다. 우리가 이 연구에서 절대 물리량을

산출하기 위해서 사용한 BRH의 측광해는 V 광도곡선만의 분석을 통하여 산출한 것으로써, 복잡한 광도변화를 보이는 AG Vir의 광도와 시스템 속도의 변화 원인을 파악하고, 이를 통한 더 나은 절대 물리량을 얻기 위해서는 앞으로 정밀한 다파장 측광관측이 절실히 요구된다.

참고문헌

- 이충욱, 한인우, 김강민, 김천휘 2004, 한국우주과학회지, 21, 263
- Bell, S. A., Rainger, P. P., & Hilditch, R. W. 1990, ApJ, 247, 632
- Binnendijk, L. 1969, AJ, 74, 1024
- Blanco, C. & Catalano, F. 1970, *Memories della Societa Astronomica Italiana*, 41, 343
- Fliegel, H. F. 1963, Ph.D. Thesis, University of Pennsylvania
- Flower, P. J. 1996, ApJ, 469, 355
- Guthnick, P. & Prager, R. 1929, *Beob. Zir.*, 11, 32
- Hill, G. & Barnes, J. V. 1972, PASP, 84, 382
- Kaluzny, J. 1986, *Acta Astr.*, 36, 121
- Kim, K.-M., Jang, B.-H., Han, I., Jang, J. G., Sung, H. C., Chun, M.-Y., Hyung, S., Yoon, T.-S., & Vogt, S. S. 2002, JKAS, 35, 221
- Lu, W. & Rucinski, S. M. 1999, AJ, 118, 515
- Lu, W., Rucinski, S. M., & Ogloza, W. 2001, AJ, 122, 402
- Mayer, P. 1990, *Bull. Astron. Inst. Czech.*, 41, 231
- Michaels, E. J. 1988, IBVS, No.3202
- Niarchos, P. G. 1985, A&AS, 61, 313
- Popper, D. M. 1980, ARA&A, 18, 115
- Pribulla, T., Chochol, D., Rovithis-Livaniou, H., & Rovithis, P. 1999, A&A, 345, 137
- Pych, W., Rucinski, S. M., DeBond, H., Thomson, J. R., Capobianco, C. C., Blake, R. M., Ogloza W., Stachowski, G., Rogoziecki, P., Ligeza, P., & Gazeas, K. 2004, AJ, 127, 1712
- Qian, S. 2001, MNRAS, 328, 914
- Rucinski, S. M. 2002, AJ, 124, 1746
- Rucinski, S. M. & Lu, W. 1999, AJ, 118, 2451
- Rucinski, S. M., Capobianco, C. C., Lu, W., DeBond, H., Thomson, J. R., Mochnacki, S. W., Blake R. M., Ogloza, W., Stachowski, G., & Rogoziecki, P. 2003, AJ, 125, 3258
- Rucinski, S. M., Lu, W., Capobianco, C. C., Mochnacki, S. W., Blake, R. M., Thomson, J. R., Ogloza, W., & Stachowski, G. 2002, AJ, 124, 1738
- Rucinski, S. M., Lu, W., & Mochnacki, S. W. 2000, AJ, 120, 1133
- Rucinski, S. M., Lu, W., Mochnacki, S. W., Ogloza, W., & Stachowski, G. 2001, AJ, 122, 1974
- Sanford, R. F. 1934, ApJ, 79, 89
- Shaw, J. S. 1994, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 65, 95S
- Szczepanowska, A. 1958, *Acta Astr.*, 8, 36

Wilson, R. E. 1998, <ftp://ftp.astro.ufl.edu/pub/wilson/>

Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605

Wood, F. B. 1946, *Contr. Princeton Univ. Obs.*, 21, 4