

근접쌍성 V651 Cas의 공전주기 연구

김 천 휘^{1†}, 이 재 우²
충북대학교 천문우주학과¹, 한국천문연구원²

A PERIOD STUDY OF THE CLOSE BINARY V651 CASSIOPEIAE

Chun-Hwey Kim^{1†}, Jae Woo Lee²

¹Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

E-mail: kimch@astro.chungbuk.ac.kr

²Korea Astronomy Observatory

E-mail: jwlee@hanul.issa.re.kr

(Received October 06, 2000; Accepted October 23, 2000)

요 약

아직 잘 연구 되지 않은 식쌍성 V651 Cas의 극심시각을 모두 수집하여 분석하였다. 그 결과, 이 쌍성의 공전주기가 규칙적으로 변화해 왔을 가능성을 발견하였다. 이를 제3천체에 의한 광시간 효과때문으로 가정하여 광시간 궤도요소를 구하였다. 최종적으로 구한 광시간 궤도의 주기, 반-진폭, 그리고 이심율은 각각 5.966, 0.^d00144, 그리고 0.92이다. 이 논문에서 제시한 제3천체의 존재 확인을 위하여 극심시각의 많은 관측이 요구된다.

ABSTRACT

All times of minimum light of V651 Cas, which is still less studied so far, were analyzed. From our analysis, it was found that the orbital period of the system may have varied in a periodic manner. After assuming that the period change is produced by the light-time effect due to a third body in the system, attempts to derive the orbital elements of the light-time orbit were made. The resultant values for the period, semi-amplitude, and eccentricity of the light-time orbit were 6.^y25, 0.^d0013, and 0.77, respectively. The future observations of times of minimum light of V651 Cas are needed to confirm the existence of the third body we suggested in this paper.

Key words: stars, close binaries, period variation

1. 서 론

V651 Cas (BV 326, CSV 8883, NSV 14717)는 Strohmeier & Knigge (1960)에 의하여 식쌍성으로 처음 밝혀졌다. 그 후 Berthold (1982)은 193개의 Hartha sky-patrol 건판을 조사하여, 이 별을 공전주

[†]corresponding author

기가 $0.^d490$ 인 W UMa형으로 분류하였을 뿐만아니라, 공전주기가 1965년 10월경에 갑작스럽게 변화하였다고 주장하였다. 한편, Lu (1986)는 분광관측을 수행하여 시선속도곡선을 발표하였다. 그의 시선속도곡선은 전 위상에 걸쳐 이루어진 완전한 것은 아니지만, 그는 이 별의 공전주기를 $0.^d9969$ 로 개정하였고, 이 쌍성계의 최소 질량을 $1.61 (0.83 + 0.78)M_{\odot}$ 으로 추측하였다. V651 Cas의 질량비가 약 0.94이며, 흡수선들이 매우 날카롭고 찌그러지지 않은 점으로부터 그는 이 계가 W UMa형이 아님을 지적하였고, 두 성분별들의 분광형을 각각 G5V와 G8~K0로 정하였다. 또한, Lu는 이 별이 보여주는 분광학적 성질 (두 별 모두에서 CaII H & K이 방출, 선세기 비 등)로부터 이 쌍성계가 RS CVn형 식쌍성에 속한다고 하였다. Lu의 연구에 이어 Berthold (1988)는 23개의 사진건판 극심시각을 구하였고, 이 별의 광도요소 ($\text{Min } I = \text{JD } 2446430.305 + 0.^d9968089 E$)를 결정하였다. 이 별의 최초의 BV 광전관측은 Agerer & Lichtenknecker (1991)에서 수행되었다. 그들은 이 별의 광도변화가 있음을 검출하였고, Lu가 언급한 RS CVn형 식쌍성의 특성 때문에 이러한 변화가 일어난다고 하였다. 그들이 제시한 V651 Cas의 광도곡선은 이 별이 알골형 식쌍성임을 알려준다. 불행히도 Agerer & Lichtenknecker는 그들의 관측점들을 발표하지 않았고, 광도곡선 해도 구하지 않았다. 그 이후, 만기형 F~K 식쌍성의 분광학적 탐사에서 Popper (1996)는 V651 Cas의 평균 분광형을 G4로, 쌍성계의 최소 질량을 $1.5M_{\odot}$ 로 결정하였다. 그는 이 쌍성계의 성분별 중에서 최소 한 별은 질량이 $1.1 M_{\odot}$ 보다 작은 주계열별이 있을 가능성이 있는 높은 순위의 등급 (그의 등급 분류에 따르면 "a")을 부여하였다. Hübscher et al. (1992, 1993, 1994), Agerer & Hübscher (1998, 1999)는 이 별의 최근 극심시각을 발표하였다.

V651 Cas의 관측 역사에서 보듯이 이 별은 그 성질이 아직 잘 밝혀지지 않은 별들 중의 하나이다. 이 논문은 V651 Cas의 발표된 모든 극심시각을 수집하고 분석하여 이 별의 동역학적 특성 이해에 기여하고자 한다.

2. 주기연구

현재까지 여러 문헌 발표된 총36개의 V651 Cas의 극심시각 (사진 건판 극심시각: 23개, 분광 관측 극심시각: 1개, 광전관측 극심시각: 12개)을 모두 수집하여 표 1에 수록하였다. Agerer & Lichtenknecker의 광도요소

$$\text{Min } I = \text{JD Hel } 2448205.6322 + 0.^d9968096E \quad (1)$$

를 사용하여 V651 Cas의 ($O-C$)도를 그림 1의 윗 부분에 그렸다. 그림 1에서 보듯이, 사진 건판에 의한 극심시각의 ($O-C$) 잔차는 짧은 시간 간격에도 최소 약 $\pm 0.^d01$ 의 분산이 있음을 본다. 또한, Berthold (1982)가 제기한 1965년경의 주기 변화는 더 이상 유효하지 않다는 것을 그림 1은 명백히 보여준다. 반면, 최근에 관측된 광전관측 극심시각은 그 수는 작지만, Agerer & Lichtenknecker의 광도요소로부터 벗어나고 있다. 따라서, 모든 극심시각과 최소자승법을 이용하여 새로운 광도요소를

$$\text{Min } I = \text{JD Hel } 2448205.6334(2) + 0.^d99680981(14)E \quad (2)$$

으로 구하였다. 이 광도요소로 구한 각 극심시각의 공전횟수와 그 ($O-C$)잔차를 표 1의 네 번째와 다섯 번째 열에 수록하였고, 그 ($O-C$)도를 그림 1의 아래 부분에 그렸다. 이 그림에서 새로운 광도요소는 최근의 광전관측 극심시각을 잘 맞추고 있으나, 1988년 이후에 관측된 12개의 광전관측 ($O-C$)

표 1. V651 Cas의 극심사각.

극심사각	식의 형태	관측 방법	공전 횟수	$(O - C)_1$	$(O - C)_2$	$(O - C)_3$	참고* 문헌
2426743.311	I	P	-21531.0	-0.0104	-	-	BE
2427060.327	I	P	-21213.0	0.0201	-	-	BE
2427063.324	I	P	-21210.0	0.0267	-	-	BE
2431413.389	I	P	-16846.0	0.0137	-	-	BE
2431673.534	I	P	-16585.0	-0.0087	-	-	BE
2433864.527	I	P	-14387.0	-0.0037	-	-	BE
2433888.451	I	P	-14363.0	-0.0031	-	-	BE
2434191.498	I	P	-14059.0	0.0137	-	-	BE
2435509.265	I	P	-12737.0	-0.0019	-	-	BE
2435551.624	II	P	-12694.5	-0.0073	-	-	BE
2436378.470	I	P	-11865.0	-0.0150	-	-	BE
2436394.419	I	P	-11849.0	-0.0150	-	-	BE
2436395.440	I	P	-11848.0	0.0092	-	-	BE
2436400.421	I	P	-11843.0	0.0062	-	-	BE
2437016.431	I	P	-11225.0	-0.0123	-	-	BE
2437045.351	I	P	-11196.0	0.0002	-	-	BE
2439027.509	II	P	-9207.5	0.0019	-	-	BE
2439029.501	II	P	-9205.5	0.0003	-	-	BE
2440152.403	I	P	-8079.0	-0.0039	-	-	BE
2444254.268	I	P	-3964.0	-0.0113	-	-	BE
2444256.256	I	P	-3962.0	-0.0169	-	-	BE
2446430.316	I	SP	-1781.0	0.0009	-	-	LU
2446713.391	I	P	-1497.0	-0.0181	-	-	BE
2446714.411	I	P	-1496.0	0.0051	-	-	BE
2447470.4858	II	PE	-737.5	-0.0004	-0.000041	-0.000041	AL
2447769.5299	II	PE	-437.5	0.0008	0.000041	0.000029	AL
2447975.3689*	I	PE	-231.0	-0.0014	-	-	AL
2447983.3450	I	PE	-223.0	0.0002	0.000084	-0.000007	AL
2448093.4913*	II	PE	-112.5	-0.0010	-0.000320	-	AL
2448205.6326	I	PE	0.0	-0.0008	0.000227	0.000030	AL
2448419.4520*	II	PEB	214.5	0.0029	-	-	HU1
2448524.6113	I	PEB	320.0	-0.0012	0.000080	0.000005	HU1
2448909.3800	I	PE	706.0	-0.0011	-0.000083	-0.000058	HU2
2449403.3003	II	PE	1201.5	-0.0001	0.000023	0.000082	HU3
2450001.388	II	PE	1801.5	0.0017	-0.000005	-0.000027	AH2
2450489.3250	I	PE	2291.0	0.0003	-0.000006	-0.000013	AH1

* AH1=Agerer & Hübscher (1998)

AH2=Agerer & Hübscher (1999)

AL=Agerer & Lichtenknecker (1991)

BE=Berthold (1988)

HU1=Hübscher et al. (1992)

HU2=Hübscher et al. (1993)

HU3=Hübscher et al. (1994)

LU=Lu (1986)

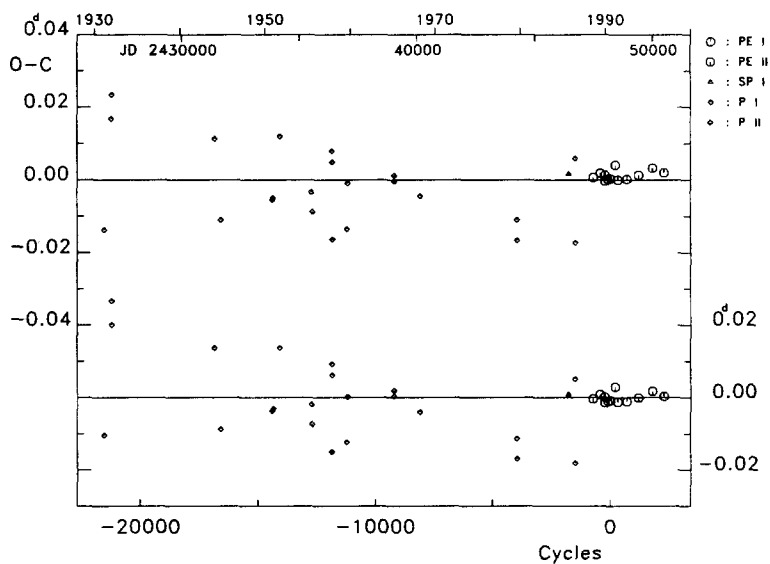


그림 1. V651 Cas의 (O-C)도. 윗 부분과 아랫 부분은 각각 (1)식과 (2)식으로 그린 (O-C)도이다.

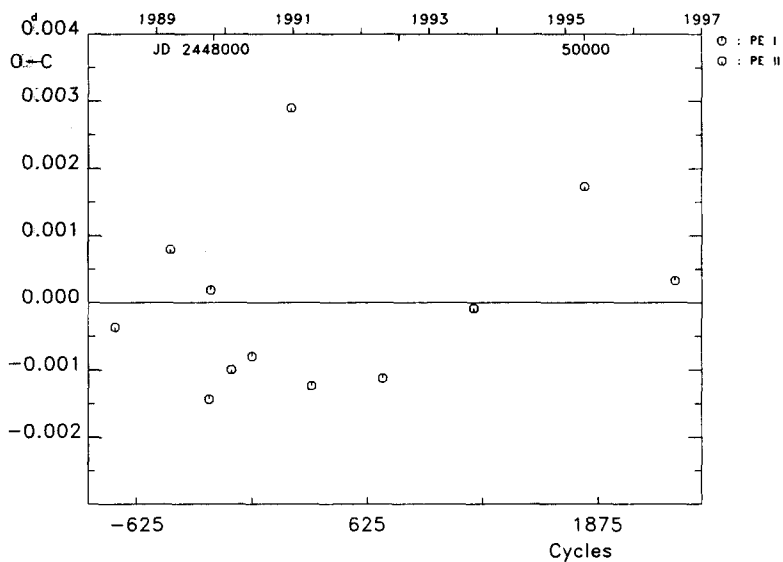


그림 2. 광전관측 극심시각만을 이용하여 만든 V651 Cas의 (O-C)도.

표 2. V651 Cas의 광시간 궤도 해.

궤도요소	해 1	해 2	단위
T_0	2448205.63337 (13)	2448205.63324 (4)	JD Hel
P	0.99681037 (13)	0.99681032 (4)	day
K	0.00150	0.00133	day
e	0.968 (0.006)	0.769 (0.029)	-
ω	161.0 (3.0)	131.6 (2.8)	deg
T	2447948.7 (34.4)	2447909.5 (12.6)	JD Hel
P_3	6.33 (0.23)	6.25 (0.06)	year
σ	± 0.000141	± 0.000043	day

잔차들이 작은 변화를 하고 있음을 본다.

이 변화 양상을 자세히 보기 위하여 그림 2에 광전관측치들만의 ($O-C$)도를 그렸다. 이 그림에서 잔차의 분산은 최소 $-0.^d0014$ (약 -2^m)에서 최대 $+0.^d0029$ (약 $+4^m$)까지 약 $0.^d0043$ (약 6^m)에 이르고 있다. 광전관측에 의한 극심시각의 평균 내부 오차가 약 $\pm 0.^d0005$ ($\pm 0.^m72$)을 감안하면, 이 양은 매우 큰 것이다. 그런데, 표 1에 *로 표시한 2개의 극심시각 JD 2447975.3689와 2448419.4520은 다른 주변의 극심시각의 행위에 비해 매우 큰 $-0.^d0014$ 와 $+0.^d0029$ 의 잔차를 각각 보이고 있다. 이 두 극심시각의 행위가 짧은 시간내에서 빠르게 변화하는 주기 변화를 나타내고 있는 것인지 아니면, 관측 오차 때문인지를 가려내는 것은, 그 두 극심시각에 대한 관측치가 발표되지 않았기 때문에, 현재로서는 어렵다. 그러나, 우리는 식쌍성에서 매우 짧은 시간 간격동안에 큰 주기변화가 일어나는 것은 비합리적이기 때문에 후자의 이유가 두 극심시각의 행위를 설명하는데 더 타당한 것으로 생각하고 있다. 따라서, 이 논문에서는 이 두 극심시각을 제외하고 분석하였다. 나머지 극심시각들의 ($O-C$)잔차들은, 그림 2에서 보듯이, 약 $0.^d001$ 을 반진폭을 가지고 약 6년의 주기로 변화하는 것을 볼 수 있다.

이 변화가 제3천체에 의한 광시간 효과 때문에 생겨난다고 가정하고, 광전관측 극심시각들을 광시간 효과를 포함한 광도요소

$$C = T_0 + PE + \tau \quad (3)$$

에 맞추었다. 여기서 τ 는 제3천체에 의한 광시간으로 그 자세한 식은 Irwin (1952)의 논문에 잘 기술되어 있다. (3)식은 모두 7개의 미지수를 갖고 있는데, 그 미지수를 얻기 위해서 미분보정법 (differential correction method)의 하나인 Levenberg-Marquardt 방법 (Press et al. 1989)을 이용하였고, (3)식에 대한 미분보정식은 Irwin (1959)의 논문에 소개된 식들을 사용하였다.

최종적으로 얻은 해 (해 1)는 표 2의 두 번째 열에 수록하였다. 이 표에서 σ 는 표준 오차이다. 표 2에 수록된 선형광도요소로 작성한 ($O-C$)도를 그림 3에 보였다. 이 그림에서 실선은 이론적인 광시간 궤도이다. 우리가 구한 광시간 궤도는 약 $6.^y33$ 의 주기, 매우 큰 이심율 ($e=0.97$), 그리고 작은 반-진폭 ($K=0.^d0015$)을 가지고 있다. (3)식 전체를 사용한 ($O-C$) 잔차를 표 1의 여섯 번째 열에 수록하였다. 이 잔차들로부터 계산한 σ 는 약 $\pm 0.^d00014$ 으로 이는 잘 관측된 극심시각의 내부 오차에 해당한다. 그런데, 표 1에 *로 표시한 또 한 개의 극심시각 (JD 2448093.4913)은 그 전과 후의 극심시각의 행위에서 벗어나고 있다. 그 극심시각의 ($O-C$) 잔차는 표 1에서 보듯이 $-0.^d00032$ 로 3σ 에 근

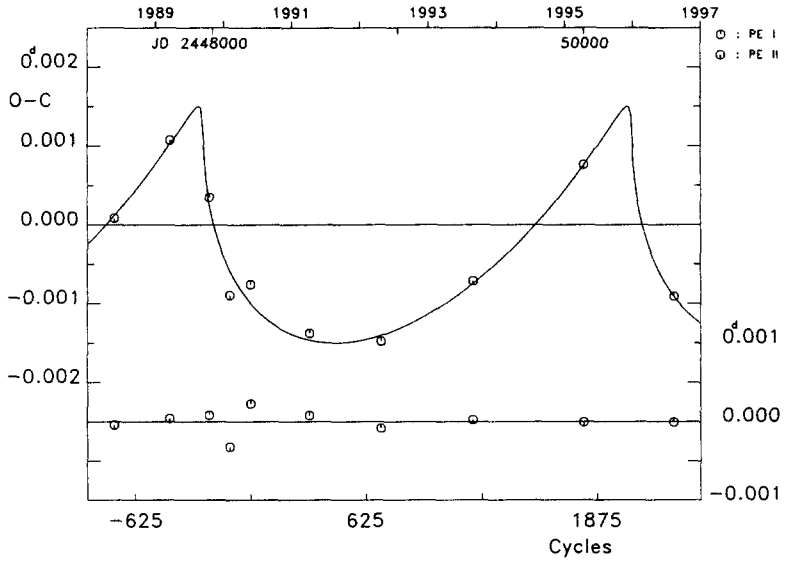


그림 3. 해 1의 선형 광도요소로 작성한 V651 Cas의 (O-C)도. 실선은 이론적인 광시간 궤도이다.

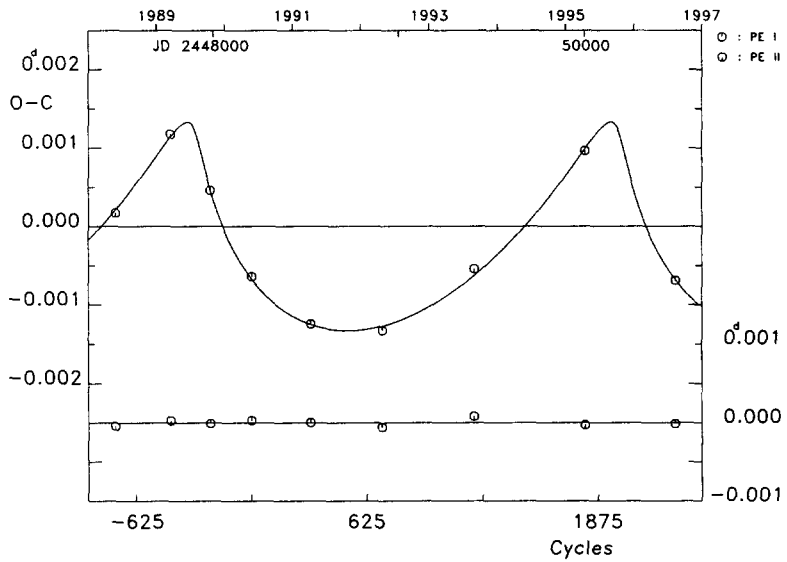


그림 4. 해 2의 선형 광도요소로 작성한 V651 Cas의 (O-C)도. 실선은 이론적인 광시간 궤도이다.

접하고 있다.

이 관측점 역시 위에서 언급한 2개의 극심시각과 마찬가지로 이유로 제외하고, 그 나머지 극심시각들을 이용하여 광시간 궤도를 다시 구하였다. 그 결과 (해 2)를 표 2의 세 번째 열에 수록하였고, 표 2에 수록한 선형광도요소로 그린 (O-C)도와 이론적인 광시간 궤도를 실선으로 하여 그림 4에 제시하였다. 이 그림과 그림 3을 비교해 보면 해 2의 광시간 궤도가 관측치를 아주 잘 맞추고 있다. 해 2의 광시간 궤도는 해 1에 비해 이심율이 약 0.2만큼 준 것이 특징적이다. 해 2의 광시간 궤도는 해 1의 경우에 비해 그 표준 오차가 약 4배 정도 감소하였고, 각 궤도요소들의 표준 오차가 전반적으로 감소하였음을 표 2에서 볼 수 있다.

3. 요약과 논의

이 논문에서 우리는 V651 Cas의 광전관측 극심시각 분석을 통하여 이 별의 공전주기가 변화하고 있음을 밝혔다. 또한, 그 변화는, 주변의 극심시각의 행위에 비해 짧은 시간동안에 급하게 변하는 3개의 극심시각을 무시하면, 매우 규칙적임을 논의하였다. 분석에서 무시된 극심시각들 (JD 2447975.3689, 2448419.4520, 2448093.4913)의 간차는 그 전후 극심시각의 간차에 비해 상대적으로 크다. 이 큰 간차들의 원인을 우리는 관측오차라고 생각하는데, 그 이유는 공전주기가 짧은 시간동안에 갑작스럽게 변화한 결과라고 보는 것은 비합리적이기 때문이다. 우리가 제안한 규칙적인 변화의 원인을 그 계에 제3천체가 존재한다면 일어나는 광시간 효과로 설명할 경우, 그 제3천체의 질량함수는 표 2에 수록한 해 2의 궤도요소를 이용하면, 약 $0.000494 M_{\odot}$ 이다. 이 질량함수로 제3천체의 질량을 여러 궤도 경사각 (i)에 대하여 구해보면, 최소 질량 ($i = 90^{\circ}$)은 약 $0.11M_{\odot}$ 이고, $i = 30^{\circ}$ 일 때의 질량은 $0.24M_{\odot}$ 이다. 이 계산에서 V651 Cas 식쌍성계의 질량은 Lu가 구한 값 ($1.61M_{\odot}$)을 사용하였다. 제 3천체의 질량은 매우 작아 현재의 여러 관측 (측광, 분광, 측성 등)으로 그 존재를 확인하기가 매우 어렵다.

V651 Cas는 다른 식쌍성에 비해 그 성질이 거의 알려지지 않은 별이다. 이 별의 광도곡선 해나 시선속도 해도 아직 없는 상태이어서 별의 기본 인자 (질량, 반경, 온도, 밝기 등)들에 대한 정보가 부족한 형편이다. 따라서, 이 별에 대한 측광과 분광 관측이 질실히 요구된다. 또한, 우리가 이 논문에서 발견한 V651 Cas계의 주기변화와 이를 설명하기 위하여 제안한 삼체의 확인과 검증하기 위해서, 내부 오차가 약 $0.^d0002$ 보다 정밀한 극심시각 관측이 많이 필요하다.

참고문헌

- Agerer, F., & Hübscher, J. 1998, IBVS 4562
 Agerer, F., & Hübscher, J. 1999, IBVS 4711
 Agerer, F., & Lichtenknecker, D. 1991, IBVS 3554
 Berthold, T. 1982, IBVS 2192
 Berthold, T. 1988, Hartha Mitt., 21, 9
 Hübscher, J., Agerer, F., & Wunder, E. 1992, BAV Mitt., 60
 Hübscher, J., Agerer, F., & Wunder, E. 1993, BAV Mitt., 62
 Hübscher, J., Agerer, F., & Wunder, E. 1994, BAV Mitt., 68

Irwin, J. B. 1952, *ApJ*, 116, 11

Irwin, J. B. 1959, *AJ*, 64, 149

Lu, W. 1986, *IBVS* 2868

Popper, D. M. 1996, *ApJS*, 106, 133

Press, W., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., & Vetterling, W. T. 1989, *Numerical Recipes* (Cambridge: Cambridge Univ. Press), Ch.14

Strohmeier, W., & Knigge, R. 1960, *Veroff. Bamberg*, Bd. V(5)