J. Astron. Space Sci. 19(1), 47-56 (2002)

근접쌍성 V651 Cas의 공전주기 변화의 재논의

김천휘[1†],이재우[1], 이충욱[1], 이동주[1], 강영운[2]
[1]충북대학교 천문우주학과
[2]세종대학교 지구과학과

REDISCUSSION OF PERIOD CHANGE OF THE CLOSE BINARY V651 CASSIOPEIAE

Chun-Hwey Kim[1†], Jae Woo Lee[1], Chung Uk Lee[1], Dong Ju Lee[1], Young Woon Kang[2]
[1]Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University
[2]Department of Geoinformation Sciences, Sejong University
E-mail: kimch@ast.chungbuk.ac.kr

(Received February 10, 2002; Accepted February 20, 2002)

요 약

2000년 11월 21일부터 23일까지 3일간 식쌍성 V651 Cas의 극심시각 관측을 수행하였다. 이 관측으로부터 총7개의 새로운 극심시각을 얻었다. 이 관측치를 포함한 V651 Cas의 광전관측 및 CCD 극심시각을 재분석하여, 김천휘와 이재우(2000)가 제안한 제3 천체에 의한 광시간 궤도를 확인하였고, 개선하였다. 최종적으로 구한 광시간 궤도의 주기, 반-진폭, 그리고 이심율은 각각 $6.^{y}3$, $0.^{d}0013$, 그리고 0.78이다. 제3 천체의 궤도경사각이 30°보다 클 경우, 제3 천체의 질량은 $0.09M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.20M_{\odot}$의 범위에 있다. V651 Cas 계에 상정된 제3 천체가 진실로 존재하고, 주계열성이라면, 그 제3 천체는 주계열 끝에 위치한다.

ABSTRACT

Observations of times of minimum lights of the eclipsing binary V651 Cas were carried out on the three nights from November 21-23, 2000. From our observations a total of seven new times of minimum lights was obtained. Through the analysis of photoelectric and CCD times of minima of V651 Cas including ours, the light time orbit due to a third body, which was proposed by Kim & Lee (2000), was confirmed and improved. The resultant values for the period, semi-amplitude, and eccentricity of the light-time orbit were $6.^{y}3$, $0.^{d}0013$, and 0.78, respectively. The deduced mass range of the third body is $0.09M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.20M_{\odot}$ for $i_3 \geq 30°$. If the third body suggested in V651 Cas system exists really and is a main-sequence star, it is located at the end of the main-sequence.

Keywords : V651 Cas, period variation, third body

1. 서 론

어떤 식쌍성계가 제3 천체를 갖고 있는 경우, 제3 천체에 기인한 광시간 효과 때문에 그 식쌍성계의 제1 극심시각과 제2 극심시각은 같은 위상으로 주기적인 변화를 겪는다. 역으로 어떤 식쌍성

†corresponding author

계의 제1, 제2 극심시각이 같은 위상으로 주기적인 변화를 한다면, 우리는 그 식쌍성계에서 보이지 않는 제3 천체를 검출할 수 있다. 이와 같은 방식으로 상당히 많은 식쌍성계에서 보이지 않는 제3 천체가 검출되고 있다(Albayrak *et al.* 1999, Borkovits & Hegedus 1996, Demircan 2000, Selam & Demircan 2000). 또한, 주기 변화 분석을 통하여 제3 천체의 궤도요소를 구할 수 있을 뿐만 아니라, 주기 변화 진폭과 변화 주기로부터 제3 천체의 질량에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이런 방식으로 현재까지 발견된 제3 천체의 질량의 범위는 약 $0.05M_{\odot}$의 갈색 왜성(brown dwarf)을 가진 것으로 알려진 V471 Tau(Guinan & Ribas 2000)으로 부터 약 $14.0M_{\odot}$의 큰 질량을 가진 FZ CMa(Moffat *et al.* 1983)에 이르기까지 다양하다(Demircan 2000).

Strohmeier & Knigge(1960)에 의하여 식쌍성으로 처음 밝혀진 V651 Cas (BV 326, CSV 8883, NSV 14717)는 분광형이 G5V인 주성과 G8~K0인 반성이 $0.^{d}997$마다 그 계의 질량중심로 상호 공전하고 있는 쌍성계이다. V651 Cas의 공전주기($0.^{d}997$)가 거의 1일이어서 이 쌍성계의 광도곡선과 시선속도 곡선을 한 관측계절에 얻기가 매우 어렵다. 따라서, 이 별의 측광 및 분광학적 성질이 거의 알려지고 있지 않은 상태이다. V651 Cas의 관측 연구 역사는 김천휘와 이재우(2000)의 논문에 자세히 기술되어 있다.

가장 최근에 김천휘와 이재우는 그 당시까지 발표된 V651 Cas의 모든 극심시각을 분석하여 이 쌍성계의 공전주기가 변하며, 그 변화가 보이지 않은 제3 천체에 의한 광시간 효과로서 설명될 수 있다고 제안하였고, 두가지 가능한 광시간 궤도를 제시하였다. 이 논문은 V651 Cas의 공전주기가 김천휘와 이재우가 제시한 제3 천체에 의한 광시간 궤도에 의하여 변화하는지를 확인하기 위하여 V651 Cas의 극심시각 관측을 수행하였고, 그 결과를 논의하였다.

2. 관측

V651 Cas의 극심시각 관측을 소백산 천문대의 61cm 반사 망원경으로 2000년 11월 21일부터 연속적으로 3일간 수행하였다. 관측에 사용한 검출기는 액체질소로 냉각되는 PM512 CCD 카메라이며, 여기에 표준 BVR 필터를 부착하였다. V651 Cas의 밝기를 비교하기 위한 비교성은 HD 240417(m_v=$9.^{m}0$, sp.=K0)로서 관측기간 동안 밝기 변화는 없었다. 관측된 원시 자료는 박남규(1993)가 개발한 DIPHO를 이용하여 처리되었고, 날마다 대기 소광 계수를 얻어 대기 소광 효과를 보정하였다. 표 1에 제시한 바와 같이 총 218점의 관측점(B 필터: 18점, V 필터: 100점, R 필터: 100점)을 얻었다. 그림 1은 우리가 3일간 관측한 V651 Cas의 제1극심 부근의 광도곡선이다. 이 관측으로부터 Kwee & Van Woerden(1956) 방법으로 총 7개의 극심시각을 표 2와 같이 결정하였다.

표 2에 수록한 극심시각들의 내부 오차는 $\pm$ 0.0002일(약 $\pm$ 17초) 이내에 있어 매우 정확하다. 그림 1에서 보듯이 극심을 전후로 하강 가지와 상승 가지가 거의 비슷하고, 그 사이에 관측점들이 골고루 잘 분포되어 있기 때문에 상대적으로 정확한 내부 오차가 산출되었다.

3. 주기연구

김천휘와 이재우(2000)가 수집한 V651 Cas의 모든 극심시각 중에서 광전관측과 CCD 관측으로 결정된 극심시간과 우리 관측으로 얻은 극심시각 그리고 BBSAG 관측자가 최근에 발표한 1개의 극심시각을 표 3에 수록하였다. 이 극심시각들은 Kreiner *et al.*(2001)의 식쌍성 극심시각 data base에

표 1. V651 Cas의 BVR 관측점.

HJD (2450000+)	phase	Δm	HJD (2450000+)	phase	Δm	HJD (2450000+)	phase	Δm
ΔB								
1869.8856	0.9769	1.0311	1869.9053	0.9967	1.4024	1869.9249	0.0164	1.0961
1869.8889	0.9802	1.1148	1869.9085	0.9999	1.3871	1869.9282	0.0197	1.0450
1869.8921	0.9834	1.1735	1869.9118	0.0032	1.3622	1869.9315	0.0230	0.9721
1869.8954	0.9868	1.2573	1869.9151	0.0065	1.2961	1869.9348	0.0263	0.9048
1869.8987	0.9901	1.3157	1869.9184	0.0098	1.2415	1869.9380	0.0295	0.8423
1869.9020	0.9934	1.3802	1869.9217	0.0131	1.1616	1869.9413	0.0328	0.7845
ΔV								
1869.8863	0.9776	1.5343	1870.9025	0.9971	1.8853	1871.8880	0.9857	1.7066
1869.8896	0.9809	1.6009	1870.9042	0.9988	1.8833	1871.8897	0.9874	1.7355
1869.8929	0.9843	1.6720	1870.9060	0.0006	1.8697	1871.8914	0.9891	1.7623
1869.8962	0.9876	1.7317	1870.9077	0.0023	1.8619	1871.8931	0.9909	1.7935
1869.8994	0.9908	1.7873	1870.9094	0.0040	1.8413	1871.8948	0.9926	1.8302
1869.9027	0.9941	1.8400	1870.9111	0.0057	1.8228	1871.8965	0.9943	1.8475
1869.9060	0.9974	1.8446	1870.9128	0.0074	1.7814	1871.8983	0.9961	1.8505
1869.9093	0.0007	1.8352	1870.9145	0.0091	1.7498	1871.9000	0.9978	1.8530
1869.9126	0.0040	1.8008	1870.9163	0.0109	1.7013	1871.9017	0.9995	1.8424
1869.9158	0.0072	1.7455	1870.9180	0.0126	1.6705	1871.9034	0.0012	1.8240
1869.9191	0.0105	1.6919	1870.9197	0.0143	1.6292	1871.9051	0.0029	1.8211
1869.9224	0.0138	1.6306	1870.9214	0.0160	1.5924	1871.9069	0.0047	1.8081
1869.9257	0.0172	1.5685	1870.9231	0.0177	1.5709	1871.9086	0.0064	1.7642
1869.9290	0.0205	1.5077	1870.9248	0.0195	1.5268	1871.9103	0.0081	1.7349
1869.9322	0.0237	1.4543	1870.9266	0.0213	1.4954	1871.9120	0.0098	1.7149
1869.9355	0.0270	1.3841	1870.9283	0.0230	1.4808	1871.9137	0.0115	1.6714
1869.9388	0.0303	1.3391	1870.9300	0.0247	1.4457	1871.9154	0.0132	1.6390
1869.9420	0.0335	1.2851	1870.9317	0.0264	1.4243	1871.9172	0.0150	1.5985
1870.8750	0.9695	1.3819	1870.9334	0.0281	1.3909	1871.9189	0.0167	1.5673
1870.8768	0.9713	1.4225	1870.9351	0.0298	1.3670	1871.9206	0.0184	1.5476
1870.8785	0.9730	1.4594	1870.9369	0.0316	1.3425	1871.9223	0.0201	1.5171
1870.8802	0.9747	1.4850	1870.9386	0.0333	1.3222	1871.9240	0.0219	1.4827
1870.8819	0.9764	1.5139	1870.9403	0.0350	1.2962	1871.9257	0.0236	1.4501
1870.8836	0.9781	1.5486	1870.9420	0.0367	1.2712	1871.9275	0.0254	1.4227
1870.8853	0.9798	1.5840	1870.9437	0.0384	1.2496	1871.9292	0.0271	1.3842
1870.8871	0.9816	1.6209	1870.9454	0.0401	1.2313	1871.9309	0.0288	1.3568
1870.8888	0.9833	1.6644	1871.8742	0.9719	1.4292	1871.9326	0.0305	1.3273
1870.8905	0.9850	1.6850	1871.8759	0.9736	1.4565	1871.9343	0.0322	1.3111
1870.8922	0.9867	1.7091	1871.8776	0.9753	1.4882	1871.9360	0.0339	1.2964
1870.8939	0.9885	1.7427	1871.8794	0.9771	1.5144	1871.9378	0.0357	1.2772
1870.8957	0.9903	1.7823	1871.8811	0.9788	1.5586	1871.9395	0.0374	1.2251
1870.8974	0.9920	1.8031	1871.8828	0.9805	1.6058	1871.9412	0.0391	1.2151
1870.8991	0.9937	1.8414	1871.8845	0.9822	1.6311			
1870.9008	0.9954	1.8605	1871.8862	0.9839	1.6658			
ΔR								
1869.8870	0.9783	1.7963	1870.9030	0.9976	2.1144	1871.8884	0.9861	1.9400
1869.8902	0.9815	1.8533	1870.9047	0.9993	2.1013	1871.8901	0.9878	1.9729
1869.8935	0.9849	1.9241	1870.9064	0.0010	2.1044	1871.8919	0.9896	2.0089
1869.8968	0.9882	1.9851	1870.9082	0.0028	2.0826	1871.8936	0.9914	2.0332
1869.9001	0.9915	2.0248	1870.9099	0.0045	2.0496	1871.8953	0.9931	2.0526

표 1. (계속)

HJD (2450000+)	phase	Δm	HJD (2450000+)	phase	Δm	HJD (2450000+)	phase	Δm
ΔB								
1869.9034	0.9948	2.0643	1870.9116	0.0062	2.0330	1871.8970	0.9948	2.0643
1869.9066	0.9980	2.0749	1870.9133	0.0079	2.0006	1871.8987	0.9965	2.0791
1869.9099	0.0013	2.0625	1870.9150	0.0096	1.9570	1871.9005	0.9983	2.0936
1869.9132	0.0046	2.0299	1870.9167	0.0113	1.9182	1871.9022	1.0000	2.0823
1869.9165	0.0079	1.9655	1870.9185	0.0131	1.8865	1871.9039	0.0017	2.0612
1869.9198	0.0112	1.9248	1870.9202	0.0148	1.8578	1871.9056	0.0034	2.0456
1869.9230	0.0144	1.8668	1870.9219	0.0165	1.8293	1871.9073	0.0051	2.0193
1869.9263	0.0178	1.7966	1870.9236	0.0182	1.7976	1871.9090	0.0068	1.9984
1869.9296	0.0211	1.7361	1870.9253	0.0200	1.7601	1871.9108	0.0086	1.9617
1869.9329	0.0244	1.6877	1870.9270	0.0217	1.7317	1871.9125	0.0103	1.9354
1869.9361	0.0276	1.6288	1870.9288	0.0235	1.7074	1871.9142	0.0120	1.9006
1869.9394	0.0309	1.5943	1870.9305	0.0252	1.6832	1871.9159	0.0137	1.8736
1869.9427	0.0342	1.5445	1870.9322	0.0269	1.6606	1871.9176	0.0154	1.8394
1870.8755	0.9700	1.6464	1870.9339	0.0286	1.6378	1871.9194	0.0172	1.8064
1870.8772	0.9717	1.6820	1870.9356	0.0303	1.6072	1871.9211	0.0189	1.7903
1870.8790	0.9735	1.7073	1870.9373	0.0320	1.5866	1871.9228	0.0206	1.7420
1870.8807	0.9752	1.7436	1870.9391	0.0338	1.5687	1871.9245	0.0224	1.7187
1870.8824	0.9769	1.7676	1870.9408	0.0355	1.5428	1871.9262	0.0241	1.6845
1870.8841	0.9786	1.8032	1870.9425	0.0372	1.5301	1871.9279	0.0258	1.6641
1870.8858	0.9803	1.8358	1870.9442	0.0389	1.5046	1871.9297	0.0276	1.6495
1870.8875	0.9820	1.8650	1870.9459	0.0406	1.4812	1871.9314	0.0293	1.6109
1870.8893	0.9838	1.9084	1871.8747	0.9724	1.6978	1871.9331	0.0310	1.5844
1870.8910	0.9855	1.9249	1871.8764	0.9741	1.7173	1871.9348	0.0327	1.5542
1870.8927	0.9873	1.9589	1871.8781	0.9758	1.7353	1871.9365	0.0344	1.5300
1870.8944	0.9890	1.9935	1871.8798	0.9775	1.7793	1871.9382	0.0361	1.5347
1870.8961	0.9907	2.0253	1871.8816	0.9793	1.8144	1871.9400	0.0379	1.4896
1870.8979	0.9925	2.0498	1871.8833	0.9810	1.8592	1871.9417	0.0396	1.4806
1870.8996	0.9942	2.0784	1871.8850	0.9827	1.8866			
1870.9013	0.9959	2.0940	1871.8867	0.9844	1.9220			

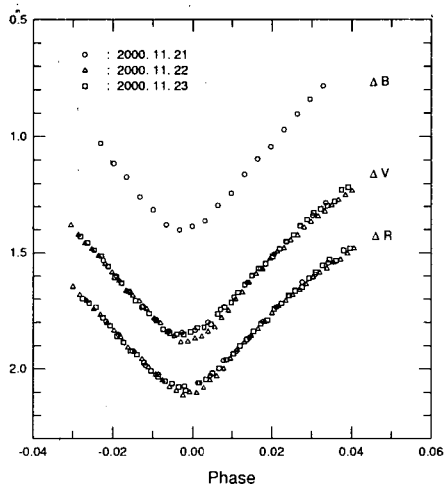

그림 1. V651 Cas의 극심시각 부근의 광도곡선.

표 2. V651 Cas의 관측된 새로운 극심시각.

극심시각 (JD Hel 2451800+)	필터	형태	가중 평균치 (JD Hel 2451800+)
69.9065 ±2	B	I	69.9066 ±2
69.9066 ±2	V	I	
69.9066 ±2	R	I	
70.9040 ±1	V	I	70.9039 ±1
70.9038 ±1	R	I	
71.9003 ±1	V	I	71.9003 ±1
71.9003 ±1	R	I	

저장되었다.

김천휘와 이재우는 V651 Cas의 주기가 주기적으로 변화한다고 하였고, 그 변화가 보이지 않은 제3 천체에 의한 광시간 효과로서 설명될 수 있다고 제안하였기 때문에, 그들이 제시한 두가지 광시간 궤도에 최근의 극심시각들이 맞는지를 검사하였다. 김천휘와 이재우가 구한 두가지 광시간 궤도해를 표 4의 두번째 칸(해 1)과 세번째 칸(해 2)에 수록하였다. 그림 2와 3의 상단에 그린 그림은 각각 이 두가지 해의 선형 광도요소로 작성한 V651 Cas의 $(O-C)$ 도이다. 이 그림들에서 곡선들은 표 4에 제시한 해 1과 해 2의 이론적인 광시간 궤도를 각각 나타내며, 하단은 그 광시간 궤도를 빼주고 남은 잔차이다. 이 잔차 값들을 표 3의 5번째$(O-C_1)$와 6번째 칸$(O-C_2)$에 각각 수록하였다. 그림들에서 보듯이 최근에 관측된 4개의 극심시각은 이론적인 곡선에서 벗어나고 있다. 그러나 그 벗어남이 이론적인 광시간 궤도의 변화 양상과 그 궤를 같이 하고 있어 김천휘와 이재우가 제시한 광시간 모델이 여전히 유효하다. 다만, 그들이 제시한 광시간 궤도를 개선할 필요가 있다. 따라서, 우리는 광시간 궤도를 개선하기 위하여, 표 3에 수록된 극심시각들을 광시간 효과를 포함한 광도요소

$$C = T_\circ + PE + \tau \tag{1}$$

에 맞추었다. 여기서 τ는 제3 천체에 의한 광시간으로 Irwin(1952)이 기술한 식들을 이용하였다. (1)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, (1)식에 대한 미분보정식은 Irwin(1959)이 유도한 식들을 사용하였다.

최종적으로 얻은 해를 표 4의 네 번째 칸에 수록하였다. 최종 해의 선형광도요소로 작성한 $(O-C)$도를 그림 4의 상단에 그렸다. 이 그림에서 곡선은 이론적인 광시간 궤도이며, 하단의 그림은 광시간 궤도를 빼주고 남은 잔차들을 그린 것이다. 이 잔차 값들을 표 3의 7번째 칸$(O-C_3)$에 수록하였다. 그림 5는 우리가 구한 광시간 궤도 주기를 단위로 하여 그린 V651 Cas의 $(O-C)$도이다. 그림 4와 5에서 보듯이 이 논문에서 새롭게 구한 광시간 궤도가 모든 관측치들을 아주 잘 맞춘다고는 할 수 없으나, V651 Cas의 공전 주기 변화의 원인으로 김천휘와 이재우가 제안한 보이지 않는 제3 천체에 의한 광시간 궤도의 도입이 불합리하지는 않음을 그림 4와 5는 명백히 보여준다. 표 3의 7번째 칸에 제시한 잔차들의 표준편차는 $\sigma = \pm 0.00026$으로 광전관측 또는 CCD 관측으로 얻은 극심시각의 정밀도에 대응하는 값이다. V651 Cas의 모든 극심시각들이 광시간 궤도로 부터 2σ 이내에 있는 반

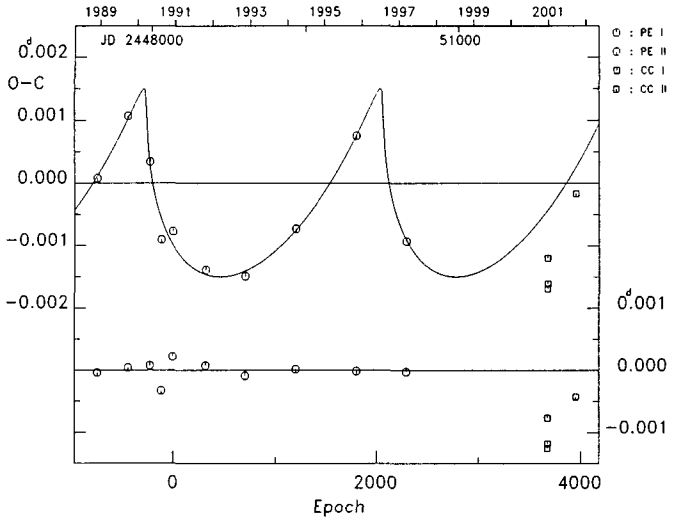

그림 2. 김천휘와 이재우(2000)가 구한 해 1의 선형 광도요소로 작성한 V651 Cas의 $(O-C)$도. 곡선은 이론적인 광시간 궤도를 나타낸다. 최근의 관측치는 이론적인 곡선에서 벗어나고 있다.

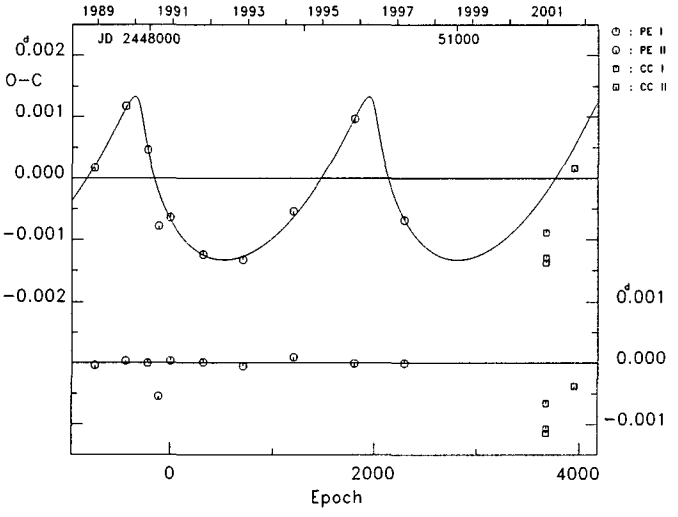

그림 3. 김천휘와 이재우(2000)가 구한 해 2의 선형 광도요소로 작성한 V651 Cas의 $(O-C)$도. 곡선은 이론적인 광시간 궤도를 나타낸다. 최근의 관측치는 이론적인 곡선에서 벗어나고 있다.

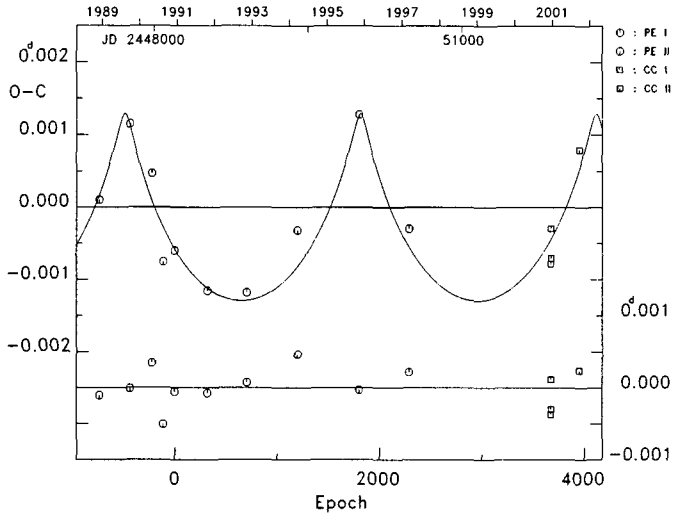

그림 4. 이 논문에서 새로 구한 광시간 궤도의 선형 광도요소로 작성한 V651 Cas의 $(O-C)$도. 곡선은 이론적인 광시간 궤도를 나타낸다.

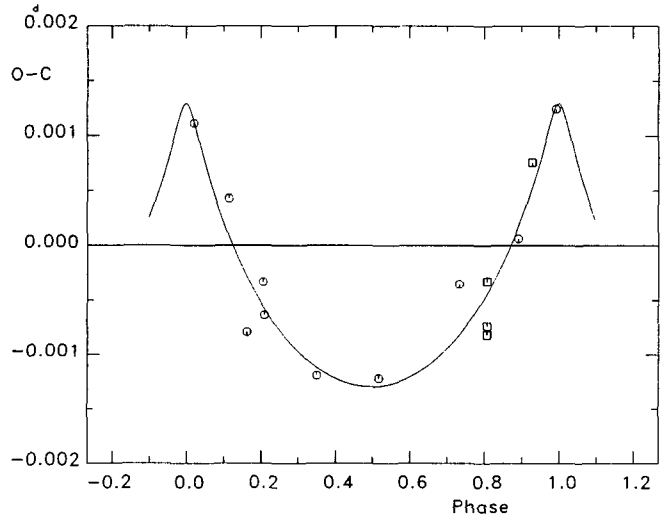

그림 5. 이 논문에서 새로 구한 광시간 궤도의 주기를 단위로 하여 작성한 V651 Cas의 $(O-C)$도. 곡선은 이론적인 광시간 궤도를 나타낸다.

표 3. 수집된 V651 Cas의 광전관측 및 CCD 극심시각.

극심시각	식의형태	관측방법	공전횟수	$O-C_1$	$O-C_2$	$O-C_3$	참고문헌*
2447470.4858	II	PE	-737.5	-0.000038	-0.000039	-0.000105	AL
2447769.5299	II	PE	-437.5	0.000041	0.000033	-0.000011	AL
2447983.3450	I	PE	-223.0	0.000078	-0.000005	0.000344	AL
2448093.4913	II	PE	-112.5	-0.000328	-0.000545	-0.000509	AL
2448205.6326	I	PE	0.0	0.000220	0.000032	-0.000055	AL
2448524.6113	I	PEB	320.0	0.000076	0.000008	-0.000073	HU1
2448909.3800	I	PE	706.0	-0.000086	-0.000054	0.000074	HU2
2449403.3003	II	PE	1201.5	0.000019	0.000091	0.000464	HU3
2450001.388	II	PE	1801.5	-0.000013	-0.000013	-0.000028	AH2
2450489.3250	I	PE	2291.0	-0.000023	-0.000009	0.000219	AH1
2451869.9066	I	CCD	3676.0	-0.001256	-0.001148	-0.000373	TH
2451870.9039	I	CCD	3677.0	-0.000768	-0.000661	0.000115	TH
2451871.9003	I	CCD	3678.0	-0.001182	-0.001074	-0.000298	TH
2452146.523	I	CCD	3953.5	-0.000427	-0.000379	0.000241	BB

*AH1=Agerer & Hübscher (1998)
AL=Agerer & Lichtenknecker (1991)
HU2=Hübscher *et al.* (1993)
LU=Lu (1986)
BB=BBSAG Bull. 126
AH2=Agerer & Hübscher (1999)
HU1=Hübscher *et al.* (1992)
HU3=Hübscher *et al.* (1994)
TH=This Paper

표 4. V651 Cas의 광시간 궤도 해.

궤도요소	해 1	해 2	이 논 문	단위
T_o	2448205.63337 (13)	2448205.63324 (4)	2448205.6332 (3)	JD Hel
P	0.99681037 (13)	0.99681032 (4)	0.99681017 (12)	day
K	0.0015	0.0013	0.0013	day
e	0.968 (0.006)	0.769 (0.029)	0.775 (0.278)	-
ω	161.0 (3.0)	131.6 (2.8)	91.6 (22.7)	deg
T	2447948.7 (34.4)	2447909.5 (12.6)	2447722.1 (58.4)	JD Hel
P_3	6.33 (0.23)	6.25 (0.06)	6.29 (0.22)	year

면, 광시간 궤도의 반 진폭(semi-amplitude)은 $K = 0.^{d}0013$으로 5σ 수준이다. 따라서, 우리는 V651 Cas의 공전주기가 $K = 0.^{d}0013$의 작은 진폭으로 규칙적으로 변해 왔다고 말할 수 있다.

우리가 구한 광시간 궤도는 약 $6.^{y}3$의 주기, 큰 이심율(e=0.78), 그리고 작은 반-진폭(K=$0.^{d}0013$)으로 구성되어 있어 김천휘와 이재우가 구한 해 2와 비슷하나, 근성점 이각(ω)과 근성점 통과시각(T)은 해 2에 비해 각각 약 40^{o}와 187^{d}이 작은 것으로 계산되었다.

4. 요약과 논의

이 논문에서 우리는 V651 Cas의 광전관측 극심시각 분석을 통하여, 이 별의 공전주기 변화의 원인으로 김천휘와 이재우(2000)가 처음으로 제안한 광시간 궤도를 확인하였고, 표 4의 네번째 칸에 제시한 바와 같이 개선하였다. 그림 4에서 보듯이 제안된 제3 천체는 1988년부터 2002년까지 약 14년 동안 광시간 궤도를 따라 단지 약 2회 운동하였을 뿐이다. 그 기간 동안에 관측된 극심시각의 갯수

도 14개밖에 되지 않는다. 따라서, 앞으로 계속적으로 극심시각이 관측된다면, 이 논문에서 구한 광시간 궤도는 개선될 여지가 충분히 있다.

V651 Cas 계에 제안된 제3 천체의 질량함수는, 우리가 구한 광시간 궤도를 이용하면, 약 0.000285 $M_{\odot}$으로 계산된다. 이 질량함수로 제3 천체의 질량을 여러 궤도 경사각(i_3)에 대하여 구해보면, 최소 질량 ($i_3 = 90°$)은 약 $0.09M_{\odot}$이고, $i_3 = 30°$일 때의 질량은 약 $0.20M_{\odot}$이다. 따라서, $i_3 \geq 30°$일 때의 제3 천체의 질량 범위는 $0.09M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.20M_{\odot}$ 이다. 이 계산에서 V651 Cas 계의 질량은 Lu가 구한 값($1.61M_{\odot}$)을 사용하였다. 질량함수와 제3 천체의 질량을 구하는 일련의 과정은 Kim(1997)이 서술한 식들을 이용하였다.

최근에 Henry *et al.*(1999)은 허블 우주망원경의 FGS3로 관측한 자료를 분석하여 작은 질량을 가진 16개의 천체들의 질량-광도관계를 제시하였다. 그들이 분석한 별들은 모두 다중성의 성분이며, 그것들의 질량은 $0.07M_{\odot}$에서 $0.30M_{\odot}$ 사이에 있어, 모두 주계열의 끝에 위치한다. V651 Cas 계에 제3 천체가 진실로 존재한다면, 그것은 작은 질량을 가진 천체의 성질과 진화를 연구하는 데 기여할 수가 있다. 식쌍성의 극심시각의 분석으로 부터, 약 $0.3M_{\odot}$보다 작은 질량을 가진 제3 천체가 발견되었다는 보고는 그리 많지 않다. 갈색 왜성으로 알려진 약 $0.05M_{\odot}$의 제3 천체가 검출된 V471 Tau(Guinan & Ribas 2000)를 포함하여 10여개 만이 보고되어 있다(Demircan 2000).

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 부재한 형편이다. 따라서, 이 별에 대한 측광과 분광 관측이 절실히 요구된다. 이와 더불어 V651 Cas 계에 제안된 제3 천체의 성질을 더 자세히 밝히기 위해서는 다양한 방법(측광, 분광, 측성 등)에 의한 고정밀 관측은 물론 내부 오차가 약 $0.^{d}0002$보다 정밀한 극심시각 관측이 많이 필요하다.

감사의 글: 이 연구는 충북대 기초과학연구소의 지원(과제번호:BSRI-01-2)으로 수행되었습니다.

참고문헌

김천휘, 이재우 2000, 한국우주과학회, 17, 173

박남규 1993 천문학논총, 8, 185

Agerer, F., & Hübscher, J. 1998, IBVS 4562

Agerer, F., & Hübscher, J. 1999, IBVS 4711

Agerer, F., & Lichtenknecker, D. 1991, IBVS 3554

Albayrak, B., Ozeren, F., Ekmekci, F., & Demircan, O. 1999, RMxAA, 35, 3

Borkovits, T., & Hegedus, T. 1996, A&AS, 120, 63

Demircan, O. 2000, Variable Stars as Essential Astrophysical Tools, ed. C. Ibanoglu (Dordrecht: Kluwer), 615

Guinan, E. F., & Ribas, I. 2000, ApJ, 546, L43

Henry, T. J., Franz, O. Z., Wasserman, L. H., Benedict, G. F., Shelus, P. J., Ianna, P. A., & McCarthy, Jr., D. W. 1999, ApJ, 512, 864

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

Kim, C.-H. 1997, JA&SS, 12, 179

Kreiner, J. M., Kim, C.-H., & Nha, I.-S. 2001, An Atlas of (O-C) Diagrams of Eclipsing Binary Stars, vols. 1-6 (Krakow: Press of Pedagogical Univ.) .

Kwee, K. K., & van Woerden, H. 1956, Bull., Astron., Insts., Neth., 12, 327

Lu, W. 1986, IBVS 2868

Moffat, A. F. J., Vogt, N., Vaz, L. P. R., & Gronbech, B. 1983, A&A, 120, 278

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

Selam, S. O., & Demircan, O. 2000, Variable Stars as Essential Astrophysical Tools, ed. C. Ibanoglu (Dordrecht: Kluwer), 605

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