

접촉쌍성 V523 CAS의 광도곡선 분석[†]

김진희¹, 정장해^{2*}
¹한국천문연구원
²충북대학교 천문우주학과

LIGHT CURVE ANALYSIS OF CONTACT BINARY SYSTEM V523 CASSIOPEIAE[†]

J. H. KIM¹, J. H. JEONG^{2*}

¹Korea Astronomy Observatory
²Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University
E-mail: kimjh@kao.re.kr, jeongjh@astro.chungbuk.ac.kr

(Received November 10, 2002; Accepted November 30, 2002)

요 약

보현산 천문대의 1.8m 망원경을 이용하여 1999년 10월 19일부터 21일까지 총 3일간 W UMa형 접촉쌍성 V523 Cas를 CCD 측광관측하여 총 616 (308의 Δb 점, 308의 Δv 점) 개의 관측점을 얻었다. 우리의 관측점으로부터 4개의 새로운 극심시각(주극심 2개, 부극심 2개)을 산출하였다. 우리가 얻은 BV 광도곡선과 Milone et al.(1985)의 시선속도곡선을 Wilson-Devinney(WD) 방법으로 흑점이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 광도곡선의 해를 산출하였다.

ABSTRACT

A total of 616 observations (308 in *B*, 308 in *V*) for V523 Cas was made on three nights from October 19 to 21 in 1999 using the 1.8m telescope with 2K CCD camera of the Bohyunsan Optical Astronomy Observatory of KAO. With our data we constructed the *BV* light curves and determined 4 times of minimum light. We also obtained physical parameters of the system by combined analysis of both light and radial velocity curves using the Wilson-Devinney code.

Keywords: CCD observations, times of minimum light, V523 Cas

1. 서 론

V523 Cas(CSV 5867)는 주기가 5.6시간($P = 0.^d2337$) 정도 밖에 안되는 W UMa형 접촉 식쌍성으로, 두 성분 별 중에 질량이 큰 별의 온도가 더 낮은 W 형이다. V523 Cas의 변광은 Weber(1957)가 처음 발견하였고, Haussler(1974a,b)와 Lavrov & Zhukov(1975)는 V523 Cas의 사진관측을 수행하고 극심시각을 발표하였다. Bradstreet(1981)은 광전측광관측을 수행하여 광도곡선을 완성한 후 그것을 WD 방법과 Binnendijk 방법으로 광도곡선을 분석하여, 광도곡선은 완벽한 대칭이 아니며, W 형

[†]본연구는 한국과학재단 지역대학우수 연구과제 (R05-2001-000-00118-0(2002)) 지원으로 수행되었음.

*corresponding author

이라고 하였고, 질량비를 $q=0.61$ 로 결정하였다. Milone et al.(1985)는 V523 Cas의 분광형을 K5V로 결정하였고, 이 쌍성계의 질량중심시선속도 γ 를 -3km/sec 로, 주성의 진폭, 반성의 진폭을 각각 $K_1=96\text{km/sec}$, $K_2=231\text{km/sec}$ 로 결정하므로 질량비를 Bradstreet(1981)의 결과와는 다른 값인 $q=0.42$ 로 결정했다. Maceroni(1986)도 분광관측으로 얻어진 질량비와 측광관측으로 얻어진 질량비가 차이가 있음을 지적했고, Samec et al.(1989)도 분광관측으로 계산한 질량비와 측광관측으로 계산한 질량비간에 큰 차이가 있다고 하였다. 이들은 WD 방법으로 흑점인자를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우를 나누어 BV 광도곡선의 해를 구하였다. Lister et al.(2000)도 그들의 광도곡선에 비대칭이 보이며, 이 비대칭이 흑점의 증거라고 하였으며 질량비는 $q=0.53$ 이라고 하였다. Samec et al.(1989)이 구한 질량비는 흑점이 있는 경우 $q=0.571$, Bradstreet(1981)의 경우는 $q=0.61$ 등 모두 다른 질량비를 보여주고 있다.

이 연구에서는 V523 Cas의 CCD 측광관측을 수행하여 광도곡선을 완성하고, 이 광도곡선을 WD 방법으로 흑점인자를 고려하고 분석하여 새로운 광도곡선해를 산출하고자 한다. 또한 V523 Cas의 질량과 반경 등의 절대량을 산출하므로써 V523 Cas 쌍성계의 모습을 보다 상세하게 보이고자 한다.

2. 관측과 광도곡선

우리는 1999년 10월 19일부터 21일까지 총 3일간 보현산 천문대의 1.8m 반사망원경을 사용하여 V523 Cas의 CCD BV 측광관측을 수행하였는데, GSC 3257:1577과 GSC 3257:1506을 각각 비교성과 검토성으로 관측하였다. 이 비교성과 검토성의 기계등급 색지수 (b-v) 값은 연구성인 V523 Cas의 값과 비슷하고 위치적으로 연구성 가까이 있다. 우리가 사용한 비교성은 Elias & Koch(2000)이 사용한 것과 같다.

우리가 얻은 모든 CCD 이미지를 IRAF 패키지로 처리하여 총 616개의 관측점(308의 Δb 점, 308의 Δv 점)을 얻었고, 이를 표 1에 정리하였다. 관측점의 확률오차는 $0.^m009(B)$, $0.^m008(V)$ 정도이다. 우리의 관측점을 가지고 그림 1과 같은 광도곡선을 만들었고, 4개의 극심시각 $JD_{\odot}2451471.0710 \pm .0008$, $JD_{\odot}2451471.186 \pm .001$, $JD_{\odot}2451472.0059 \pm .0005$, $JD_{\odot}2451472.122 \pm .0015$ 을 결정하였다.

그림 1에서 위의 두 광도곡선은 연구성의 등급에서 비교성의 등급을 뺀 $\Delta b = b_{var} - b_{comp}$ 와 $\Delta v = v_{var} - v_{comp}$ 의 곡선이고, 아래 두개는 검토성의 등급에서 비교성의 등급을 뺀 $\Delta b = b_{ch1} - b_{comp}$ 와 $\Delta v = v_{ch1} - v_{comp}$ 의 곡선으로, 관측일 별로 구분하였다. 10월 21일의 광도곡선은 몇개 안되는 관측점으로 이루어져 있으나, 19일과 20일의 광도곡선 각각은 0.75 위상 정도에서 시작하여 다음의 0.75 위상을 훨씬 지나는 기간 동안 각각 150여개의 관측점으로 구성되어 있다.

그림 2는 이들 3일간의 관측점을 종합하여, 가로축을 위상, 세로축을 Δmag 으로 하는 Δb , Δv , $\Delta(b-v)$ 광도곡선이다. 여기서 위상(phase)은 김진희(2001)의 광도요소 $Min I = JD_{\odot} 2451146.5859 + 0.^d23369342E$ 로 계산하였다. 그림 2의 광도곡선을 살펴보면, 위상 0.01 부터 위상 0.03 부근까지는 관측점이 없으며, $\Delta b, \Delta v$ 광도곡선 모두에서 위상 0.75부근이 위상 0.25부근보다 약 $0.^m02$ 더 어둡고, 부극심의 깊이는 b, v 곡선 각각에서 약 $0.^m76$, $0.^m73$ 이며, 주극심의 깊이는 각각 $0.^m91$, $0.^m86$ 정도이다. $\Delta(b-v)$ 곡선을 보면 주극심에서 약 $0.^m03$, 부극심에서 $0.^m04$ 의 적색화를 보이고 있다.

표1. V523 Cas의 Δb Δv 관측점.

JD_{\odot}			JD_{\odot}			JD_{\odot}		
2451400+	Δb	Δv	2451400+	Δb	Δv	2451400+	Δb	Δv
70.9951	-2.449	-2.482	71.0822	-2.019	-2.065	71.1784	-1.763	-1.816
70.9980	-2.461	-2.502	71.0837	-2.061	-2.113	71.1798	-1.709	-1.767
70.9996	-2.484	-2.519	71.0852	-2.079	-2.152	71.1812	-1.691	-1.708
71.0012	-2.495	-2.501	71.2861	-2.164	-2.200	71.1976	-1.872	-1.916
71.0028	-2.500	-2.527	71.0867	-2.120	-2.174	71.1990	-1.926	-1.978
71.0043	-2.506	-2.515	71.0882	-2.156	-2.203	71.2005	-1.979	-2.034
71.0057	-2.516	-2.516	71.0897	-2.184	-2.223	71.2020	-2.036	-2.082
71.0074	-2.506	-2.530	71.0912	-2.224	-2.254	71.2035	-2.083	-2.136
71.0089	-2.513	-2.528	71.0927	-2.245	-2.272	71.2051	-2.121	-2.177
71.0103	-2.520	-2.531	71.0942	-2.256	-2.310	71.2068	-2.176	-2.223
71.0122	-2.508	-2.526	71.0956	-2.272	-2.327	71.2082	-2.218	-2.236
71.0136	-2.521	-2.528	71.0971	-2.301	-2.327	71.2098	-2.247	-2.271
71.0151	-2.519	-2.515	71.0986	-2.325	-2.351	71.2120	-2.290	-2.339
71.0166	-2.494	-2.508	71.1132	-2.457	-2.459	71.2136	-2.313	-2.346
71.0181	-2.496	-2.511	71.1147	-2.471	-2.468	71.2152	-2.338	-2.370
71.0196	-2.508	-2.518	71.1163	-2.468	-2.480	71.2168	-2.363	-2.376
71.0219	-2.492	-2.503	71.1178	-2.471	-2.478	71.2186	-2.387	-2.418
71.0236	-2.477	-2.472	71.1193	-2.484	-2.491	71.2205	-2.415	-2.422
71.0253	-2.461	-2.486	71.1208	-2.495	-2.504	71.2229	-2.428	-2.457
71.0269	-2.450	-2.491	71.1225	-2.495	-2.518	71.2248	-2.433	-2.454
71.0284	-2.455	-2.471	71.1240	-2.495	-2.509	71.2266	-2.433	-2.472
71.0300	-2.443	-2.446	71.1255	-2.503	-2.509	71.2287	-2.440	-2.481
71.0315	-2.437	-2.463	71.1271	-2.509	-2.512	71.2306	-2.473	-2.496
71.0330	-2.419	-2.458	71.1285	-2.507	-2.508	71.2321	-2.491	-2.488
71.0398	-2.305	-2.396	71.1301	-2.503	-2.517	71.2338	-2.506	-2.512
71.0413	-2.307	-2.339	71.1330	-2.479	-2.504	71.2352	-2.503	-2.525
71.0430	-2.315	-2.375	71.1345	-2.476	-2.496	71.2367	-2.496	-2.524
71.0445	-2.298	-2.333	71.1371	-2.486	-2.495	71.2384	-2.509	-2.521
71.0460	-2.284	-2.312	71.1385	-2.485	-2.478	71.2398	-2.516	-2.536
71.0476	-2.258	-2.279	71.1401	-2.486	-2.487	71.2413	-2.523	-2.541
71.0491	-2.234	-2.263	71.1424	-2.473	-2.465	71.2428	-2.534	-2.535
71.0506	-2.207	-2.232	71.1441	-2.453	-2.475	71.2443	-2.530	-2.533
71.0521	-2.174	-2.196	71.1457	-2.430	-2.454	71.2459	-2.518	-2.532
71.0538	-2.130	-2.175	71.1472	-2.422	-2.434	71.2474	-2.521	-2.540
71.0553	-2.091	-2.134	71.1487	-2.421	-2.424	71.2489	-2.528	-2.540
71.0569	-2.068	-2.109	71.1502	-2.406	-2.409	71.2514	-2.519	-2.520
71.0585	-2.027	-2.064	71.1518	-2.390	-2.401	71.2536	-2.521	-2.518
71.0600	-1.977	-2.028	71.1532	-2.385	-2.400	71.2557	-2.506	-2.532
71.0616	-1.935	-1.971	71.1547	-2.368	-2.370	71.2583	-2.474	-2.503
71.0631	-1.887	-1.943	71.1566	-2.351	-2.365	71.2600	-2.469	-2.491
71.0645	-1.847	-1.898	71.1584	-2.330	-2.340	71.2620	-2.459	-2.475
71.0660	-1.821	-1.864	71.1599	-2.296	-2.328	71.2636	-2.440	-2.462
71.0675	-1.789	-1.846	71.1614	-2.275	-2.299	71.2653	-2.437	-2.463
71.0689	-1.766	-1.835	71.1629	-2.251	-2.276	71.2671	-2.429	-2.436
71.0704	-1.759	-1.817	71.1662	-2.168	-2.212	71.2692	-2.403	-2.428
71.0720	-1.763	-1.818	71.1677	-2.136	-2.166	71.2716	-2.392	-2.406
71.0735	-1.782	-1.841	71.1692	-2.098	-2.129	71.2732	-2.360	-2.390
71.0749	-1.816	-1.876	71.1707	-2.040	-2.074	71.2748	-2.334	-2.376
71.0764	-1.852	-1.908	71.1723	-1.982	-2.030	71.2766	-2.335	-2.362
71.0778	-1.888	-1.944	71.1741	-1.924	-1.966	71.2783	-2.303	-2.326
71.0793	-1.929	-1.986	71.1755	-1.874	-1.919	71.2801	-2.271	-2.291
71.0808	-1.967	-2.031	71.1770	-1.818	-1.854	71.2819	-2.240	-2.290

표 1. (계속)

JD_{\odot}			JD_{\odot}			JD_{\odot}		
2451400+	Δb	Δv	2451400+	Δb	Δv	2451400+	Δb	Δv
71.2835	-2.221	-2.246	72.0277	-2.229	-2.273	72.1443	-2.251	-2.264
71.2880	-2.122	-2.169	72.0300	-2.266	-2.309	72.1458	-2.280	-2.297
71.2897	-2.082	-2.131	72.0320	-2.287	-2.341	72.1472	-2.305	-2.316
71.2915	-2.040	-2.078	72.0335	-2.296	-2.347	72.1486	-2.324	-2.347
71.2934	-1.998	-2.030	72.0350	-2.326	-2.361	72.1501	-2.343	-2.367
71.2950	-1.953	-2.020	72.0376	-2.373	-2.385	72.1516	-2.362	-2.385
71.2967	-1.904	-1.933	72.0390	-2.378	-2.396	72.1532	-2.377	-2.404
71.3000	-1.797	-1.862	72.0405	-2.370	-2.419	72.1547	-2.394	-2.412
71.9525	-2.486	-2.514	72.0420	-2.381	-2.427	72.1562	-2.396	-2.428
71.9540	-2.478	-2.502	72.0443	-2.415	-2.436	72.1576	-2.419	-2.427
71.9556	-2.461	-2.504	72.0458	-2.442	-2.450	72.1599	-2.435	-2.437
71.9571	-2.466	-2.510	72.0476	-2.469	-2.461	72.1614	-2.435	-2.455
71.9585	-2.479	-2.489	72.0491	-2.470	-2.485	72.1629	-2.453	-2.464
71.9630	-2.486	-2.487	72.0505	-2.464	-2.481	72.1644	-2.464	-2.472
71.9644	-2.459	-2.447	72.0533	-2.466	-2.511	72.1663	-2.460	-2.484
71.9660	-2.433	-2.448	72.0548	-2.471	-2.493	72.1678	-2.475	-2.490
71.9674	-2.409	-2.435	72.0563	-2.479	-2.516	72.1693	-2.500	-2.496
71.9689	-2.406	-2.434	72.0577	-2.493	-2.510	72.1732	-2.508	-2.509
71.9704	-2.405	-2.417	72.0601	-2.509	-2.510	72.1759	-2.502	-2.518
71.9718	-2.387	-2.407	72.0616	-2.510	-2.519	72.1774	-2.509	-2.534
71.9748	-2.350	-2.375	72.0631	-2.499	-2.513	72.1804	-2.512	-2.524
71.9764	-2.331	-2.367	72.0645	-2.486	-2.513	72.1821	-2.500	-2.528
71.9778	-2.305	-2.340	72.0727	-2.475	-2.494	72.1842	-2.507	-2.525
71.9793	-2.283	-2.306	72.0742	-2.477	-2.491	72.1864	-2.513	-2.528
71.9815	-2.251	-2.297	72.0757	-2.471	-2.488	72.1912	-2.488	-2.497
71.9831	-2.221	-2.276	72.0771	-2.459	-2.487	72.2024	-2.418	-2.435
71.9846	-2.198	-2.250	72.0789	-2.450	-2.473	72.2053	-2.369	-2.403
71.9860	-2.173	-2.210	72.0819	-2.427	-2.454	72.9491	-1.927	-1.983
71.9876	-2.135	-2.185	72.0847	-2.406	-2.425	72.9569	-2.123	-2.166
71.9893	-2.099	-2.159	72.0863	-2.401	-2.420	72.9698	-2.338	-2.361
71.9908	-2.066	-2.110	72.0878	-2.393	-2.397	72.9714	-2.363	-2.381
71.9923	-2.031	-2.070	72.0893	-2.370	-2.381	72.9731	-2.379	-2.406
71.9968	-1.914	-1.955	72.0907	-2.353	-2.364	72.9748	-2.380	-2.411
71.9984	-1.863	-1.910	72.0922	-2.327	-2.361	72.9765	-2.389	-2.432
71.9999	-1.817	-1.867	72.0944	-2.290	-2.342	72.9780	-2.410	-2.420
72.0013	-1.792	-1.839	72.0958	-2.281	-2.316	72.9795	-2.415	-2.441
72.0028	-1.781	-1.811	72.0972	-2.256	-2.288	72.9810	-2.429	-2.450
72.0043	-1.771	-1.811	72.0989	-2.221	-2.283	72.9825	-2.452	-2.461
72.0057	-1.760	-1.792	72.1011	-2.181	-2.197	72.9842	-2.464	-2.475
72.0072	-1.762	-1.812	72.1028	-2.143	-2.172	72.9858	-2.471	-2.473
72.0087	-1.787	-1.842	72.1043	-2.093	-2.117	73.0132	-2.438	-2.466
72.0101	-1.818	-1.875	72.1057	-2.049	-2.059	73.0149	-2.428	-2.445
72.0118	-1.853	-1.919	72.1071	-1.991	-2.029	73.0165	-2.428	-2.443
72.0132	-1.884	-1.964	72.1087	-1.939	-1.985	73.0181	-2.427	-2.427
72.0161	-1.990	-2.034	72.1179	-1.626	-1.620	73.0200	-2.422	-2.430
72.0175	-2.032	-2.061	72.1195	-1.601	-1.649	73.0216	-2.389	-2.401
72.0190	-2.058	-2.098	72.1327	-1.888	-1.929	73.0248	-2.334	-2.368
72.0204	-2.088	-2.134	72.1345	-1.964	-1.984	73.0269	-2.297	-2.363
72.0218	-2.130	-2.169	72.1360	-2.003	-2.031			
72.0234	-2.167	-2.212	72.1375	-2.041	-2.089			
72.0248	-2.188	-2.224	72.1390	-2.096	-2.126			
72.0262	-2.206	-2.255	72.1404	-2.141	-2.158			

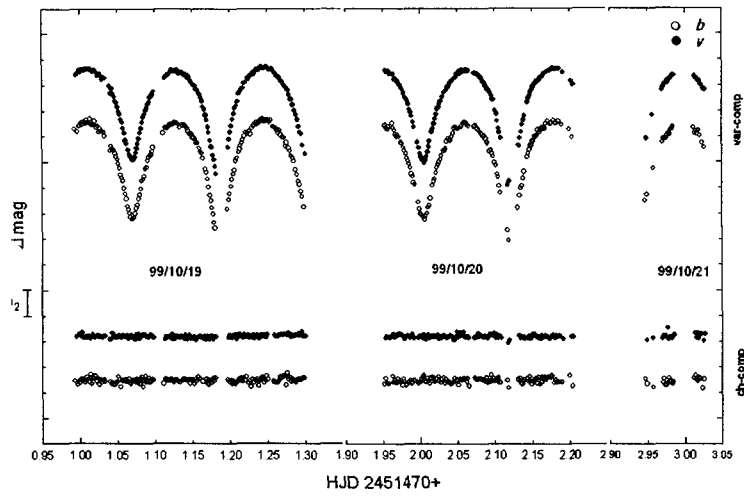


그림 1. 관측일 별로 본 V523 Cas와 검토성의 Δb , Δv 광도곡선.

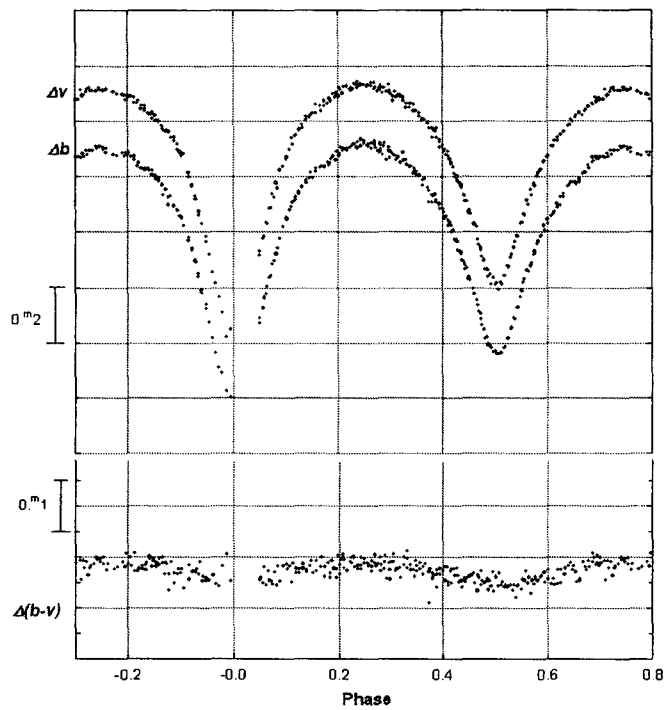


그림 2. V523 Cas의 Δb , Δv , $\Delta(b-v)$ 광도곡선.

표 2. V523 Cas 광도곡선의 해.

Parameter	Samec et al. (1989)	(해1)without spot	(해2)cool spot on Star ₁ (cool)	(해3)hot spot on Star ₁ (cool)	(해4)hot spot on Star ₂ (hot)
$a(R_{\odot})$	1.54±0.03	1.52±0.21	1.52±0.60	1.52±0.03	1.52±0.04
$V_0(km/s)$	3±3	5±3	5±2	5±2	5±3
Φ	0.5005	0.5004	0.5004	0.5004	0.5004
$A_1 = A_2$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
q	0.571±0.005	0.571±0.004	0.563±0.003	0.552±0.002	0.572±0.003
i	83.7±0.1	83.9±0.2	84.1±0.1	84.3±0.2	83.8±0.2
$T_1(K)$	4200	4200	4200	4200	4200
$T_2(K)$	4407	4400±4	4416±3	4418±3	4405±4
$\Omega_1 = \Omega_2$	2.966±0.010	2.960±0.005	2.952±0.004	2.932±0.004	2.962±0.004
$g_1 = g_2$	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
$x_{B1} = x_{B2}$	1.00	0.828	0.828	0.828	0.828
$y_{B1} = y_{B2}$	-	-0.167	-0.167	-0.167	-0.167
$x_{V1} = x_{V2}$	0.85	0.790	0.790	0.790	0.790
$y_{V1} = y_{V2}$	-	0.159	0.159	0.159	0.159
$l_1/(l_1 + l_2)_B$	0.538±0.002	0.54±0.03	0.53±0.02	0.54±0.02	0.53±0.03
$l_1/(l_1 + l_2)_V$	0.555±0.005	0.55±0.03	0.54±0.02	0.55±0.02	0.55±0.03
r_1 (pole)	0.410±0.002	0.411±0.001	0.409±0.001	0.413±0.001	0.411±0.001
r_1 (side)	0.427±0.003	0.437±0.001	0.435±0.001	0.439±0.001	0.437±0.001
r_1 (back)	0.459±0.004	0.469±0.001	0.468±0.001	0.471±0.001	0.469±0.001
r_2 (pole)	0.325±0.001	0.319±0.002	0.323±0.001	0.315±0.001	0.318±0.002
r_2 (side)	0.341±0.001	0.334±0.002	0.339±0.001	0.330±0.002	0.334±0.002
r_2 (back)	0.378±0.003	0.372±0.004	0.377±0.002	0.367±0.003	0.372±0.004
l_3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lat_{spot1}	75		123.0±0.6	131.9±0.1	
$Long_{spot1}$	265		295.38±0.08	126.74±0.03	
R_{spot1}	10		11.9±8.7	16.6±4.2	
$T.F._{spot1}$	0.755		0.88±0.02	1.084±0.004	
Lat_{spot2}					139.9±0.2
$Long_{spot2}$					315.68±0.08
R_{spot2}					11.2±0.5
$T.F._{spot2}$					1.23±0.01
$\Sigma w(O - C)^2$		0.00087	0.00054	0.00036	0.00043

3. 광도곡선의 분석

V523 Cas의 광도곡선을 분석하기 위해, 우리가 사용한 프로그램(code)은 Wilson & Devinney (1971)가 초기에 발표한 WD 프로그램에, 상세한 반사효과를 반영하는 기능(Wilson 1990)과 비선형 주연감광 효과와 흑점인자들의 조정, 자전하는 별의 표면을 따라 움직이는 흑점에 대한 선택조항 등을 고려하는 기능(Kang & Wilson 1989)이 보강된 1992년 개정판(Wilson 1992)이다. 입력자료로 먼저 표 1에 정리된 관측점을 가지고 각 광도곡선 별로 50여개의 대표점을 만들었고, Milone et al.(1985)의 시선속도 관측점 44개를 포함 하였다. V523 Cas가 접촉 쌍성이므로 모드 1이나 모드 3을 다 사용할 수 있지만 주극심과 부극심의 깊이가 다르므로(그림 2 참조), 우리는 T_2 를 조정인자로 할 수 있는 모드 3으로 하여 광도곡선을 분석하였다. 인자 g , T_1 , A , x , y 등은 고정 값으로 하고, i , T_2 , Ω ,

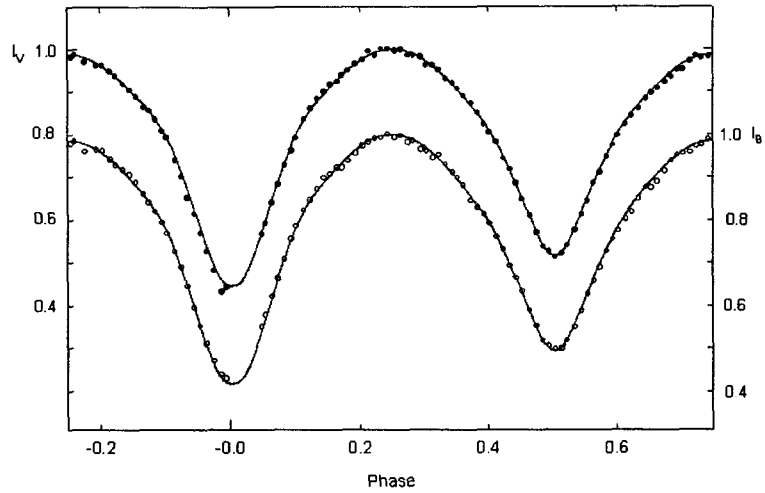


그림 3. V523의 대표점(열린 원과 닫힌 원)과 흑점을 고려하지 않은 경우의 이론적인 광도곡선(실선).

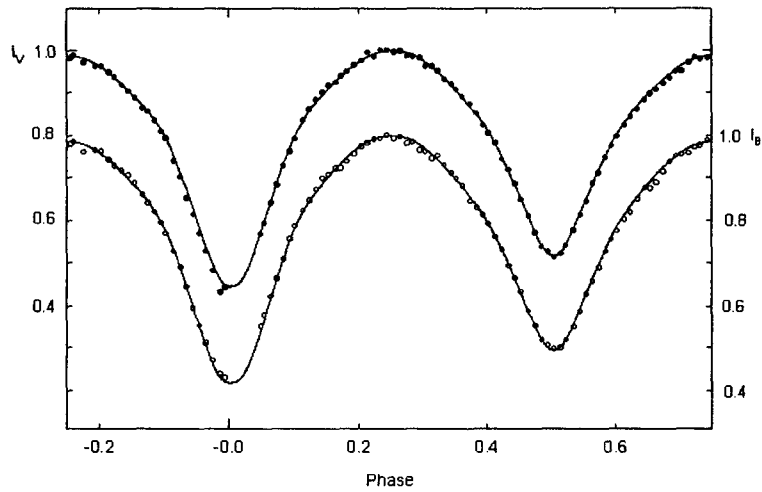


그림 4. V523의 대표점(열린 원과 닫힌 원)과 흑점을 고려한 경우의 이론적인 광도곡선(실선).

L_1, L_2, a, V_7 등은 조정인자로 정하고 분석하였다. 여기서 고정인자의 값으로 Van Hamme(1993)의 $g = 0.32, A = 0.5, x_b = 0.828, x_v = 0.790, y_b = -0.167, y_v = 0.159$ 과 Samec et al.(1989)의 $T_1 = 4200$ 을 사용하였고, 조정인자의 초기 값으로 Milone et al.(1985)의 $V_7(km/s) = -3.0$ 값과, Samec et al.(1989)의 $i = 83.1, T_2 = 4404, \Omega = 3.0, L_1b = 6.6979, L_1b = 5.8685, L_{2v} = 6.9115, L_{2v} = 5.6549, a(R_\odot) = 1.513$ 등의 값을 사용하였다.

우리가 얻은 광도곡선(그림 2 참조)은 Samec et al.(1989)의 광도곡선과는 달리, 위상 0.75 부근

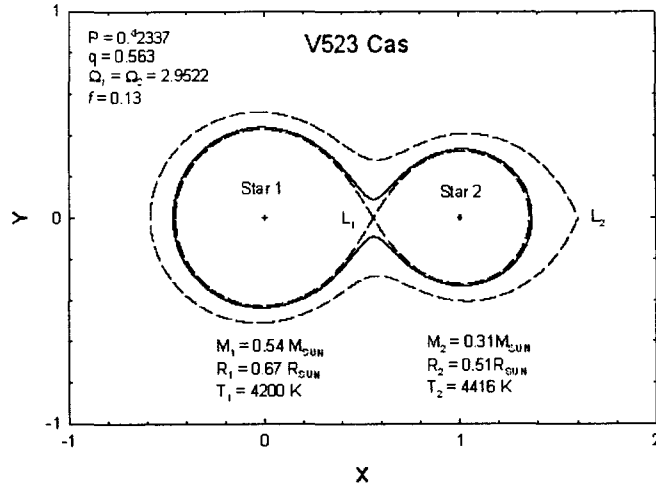


그림 5. V523 Cas의 Roche 기하.

이 0.25 부근 보다 더 어두운 비대칭을 보이고 있는데, 그 원인을 흑점의 존재에 의한 것으로 가정할 수 있는지를 살펴보기 위해서 흑점이 있는 경우와 없는 경우를 나누어 4가지 경우의 해를 구했는데, 그 하나는 흑점이 없는 경우(해1), 다른 3가지는 흑점이 있는 경우이다.

위상 0.75 부근이 0.25 부근 보다 더 어두운 원인으로 첫 번째, 차거운 별(cool star) 위에 더 차거운 흑점(cool spot)이 위상 0.75 근처에 있는 것으로 가정 하였다. 흑점이 존재할 수 있는 지역은 차거운 별 표면의 중심부분이라고 가정하여 위도 90° , 경도 270° , 각반경 10° , 그리고 차거운 흑점이므로 온도인수는 0.8을 초기값으로 하여 광도곡선의 해를 구했다(해2). 두 번째는 위상 0.25 부근이 더 밝은 원인이 차거운 별 위에 뜨거운 흑점(hot spot) 때문이며, 흑점이 존재할 수 있는 지역은 차거운 별 표면의 중심부분이라고 가정하여 위도 90° , 경도 90° , 각반경 10° , 뜨거운 흑점이므로 온도인수는 1.1을 초기값으로 하여 광도곡선의 해를 구했다(해3). 마지막으로 위상 0.25부근이 더 밝은 원인이 뜨거운 별(hot star) 위에 뜨거운 흑점 때문이고, 흑점이 존재할 수 있는 지역은 뜨거운 별 표면의 중심부분이라고 가정하여 위도 90° , 경도 270° , 각반경 10° , 뜨거운 흑점이므로 온도인수 1.1을 초기값으로 하여 광도곡선의 해를 구했다(해4). 그 결과를 표 2의 3-6째 칸에 각각 정리 하였다.

표 2의 2째칸에는 Samec et al.(1989)의 해를 정리하였다. 표 2의 맨 아래 $\Sigma w(O-C)^2$ 줄에 있는 값을 비교해 보면, 해3의 경우가 0.00036 으로 가장 작은 값을 나타낸다. 이때 흑점은 차거운 별 위의 위도 131.9° , 경도 126.74° , 각반경 16.6° 인 뜨거운 흑점(온도인수=1.08) 이다. 우리의 해1과 해3을 가지고 각각 이론적인 광도를 계산하여 만든 광도곡선을, 우리가 분석에 사용한 대표점의 광도곡선 위에 같이 그려보았다. 그림 3은 해1의 경우이고, 그림 4는 해3의 경우이다. 그림에서 열린 원과 닫힌 원으로 표시된 것은 대표점이고 실선으로 표시된 것은 계산된 광도곡선이다.

Wilson-Devinny 방법으로 구한 우리 광도곡선의 해와 Milone et al.(1985)의 시선속도곡선의 해를 결합하여 V523 Cas 쌍성계의 절대량 $M_1 = 0.32 M_{\odot}$, $M_2 = 0.54 M_{\odot}$, $R_1 = 0.52 R_{\odot}$, $R_2 = 0.66 R_{\odot}$, $T_1 = 4200 \text{ K}$, $T_2 = 4418 \text{ K}$ 등을 산출 하였다. 그림 5는 우리의 분석 결과에 근거한 값으로 그려본 V523

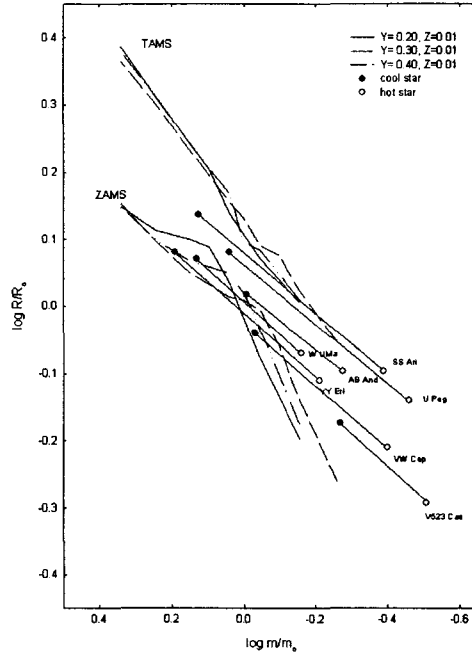


그림 6. W UMa형의 W형 쌍성들의 질량-반경도. 닫힌 원; 반성(cool star), 열린 원; 주성(hot star).

Cas의 Roche 기하이다. 이 Roche 기하는 Jeong et al.(1993)의 연구에서 사용한 것과 같은 방법으로 그린 것이다. 이 그림에서 실선은 V523 Cas계의 등포텐셜면(Ω)을 나타내고 실선 안의 점선과 실선 밖의 점선은 각각 내부 포텐셜면(Ω_{in})과 외부 포텐셜면(Ω_{out})을 나타낸다. $f = (\Omega_{in} - \Omega) / (\Omega_{in} - \Omega_{out})$ 으로 계산한 V523 Cas의 접촉도(fill-out factor: f)는 0.13이다. 이 그림에서 보듯이 V523 Cas 쌍성계는 Jeong et al.(1993)가 계산한 쌍성의 진화단계 모형 중 1-f와 같은 과접촉상태에 있음을 나타내고 있다.

4. 토의

V523 Cas의 진화단계를 살펴보기 위해 그림 6과 같은 질량-반경도를 만들어 보았다. 이 그림에 보인 접촉 쌍성들은 모두 W형으로, Maceroni & van't Veer(1996)가 제시한 자료와 Lee et al.(1998)에서 얻은 U Peg를 포함시켰다. 여기서 닫힌 원은 반성(질량은 크되 상대적으로 온도가 낮은 별)을 나타내고, 열린 원은 주성(질량은 작으나 온도가 높은 별)을 나타낸다. 영년주계열(ZAMS)과 종년주계열(TAMS)은 Mengel et al.(1979)이 계산한 항성진화모형에 대한 표에서 가져온 자료로 그린 것이다. 여기서 실선, 긴점선 그리고 점선은 화학조성이 각각($Y=0.20, Z=0.01$), ($Y=0.30, Z=0.01$), ($Y=0.40, Z=0.01$)인 것을 나타낸다. 그러나 이들은 $0.55M_{\odot} \leq M \leq 6.90M_{\odot}$ 인 경우만 계산했으므로, V523 Cas 처럼 질량이 $0.55M_{\odot}$ 이하인 것의 ZAMS와 TAMS의 경계는 알 수 없다. 다만 그 곡선의 경향으로 보아 V523 Cas의 반성은 물론이고 주성(열린 원)도 TAMS를 넘지 않은 상태로 추정된다. 또 한가지 특징은 두 성분별을 연결하는 선의 방향이 다른 W UMa형 쌍성과 같은 경향이다.

WD 방법으로 산출한 V523 Cas의 광도곡선 및 시선속도곡선의 해를 정리한 표 2의 해3 에서 보듯이, 우리가 얻은 $q=0.55$ 값은 Bradstreet(1981)의 $q=0.61$, 그리고 Samec et al.(1989)의 시선속도곡선을 고려하지 않고 구한 $q=0.63$ 와 시선속도 곡선을 고려한 $q=0.57$ 보다도 더 작은 값이다. 서론에서도 언급했듯이 V523 Cas의 특징 중에서 설명되지 않는 한 문제가 분광학적 질량비 $q_{sp}=0.42$ (Milone et al. 1985)와 측광학적 질량비 $q_{ph}=0.55$ (우리의 해3 참조)의 차이가 너무 크다는 것이다. 극단적인 시나리오로 대류층으로 된 공동 포피가 공전 주기 보다 더 빠르게 자전하는 경우, 그것도 질량이 큰 성분 위를 지날때는 느리게, 질량이 작은 성분 위를 지날때는 빠르게 자전한다고 가정하면 어색하긴 하지만 정성적으로 설명이 가능할 지 모른다. 예로 시선속도곡선에서 진폭이 $K_1=96\text{km/sec}$, $K_2=231\text{km/sec}$ 로 관측된(Milone et al. 1985) 것이 5%와 40%의 자전 속도가 각각 포함된 것으로 보고 계산하면, 공전성분 만은 $K_1=91\text{km/sec}$, $K_2=165\text{km/sec}$ 정도되어 $q_{sp}=0.55$ 값을 얻을 수 있다.

최근 Samec et al.(2001)은 1901-2001 기간의 극심시각을 분석하므로 V523 Cas의 영년주기 변화량을 $dP/dt = 3.2 \times 10^{-8} \text{day/year}$ 됨을 보였는데, 이는 1963년 이후의 극심시각을 분석해서 얻은 Shengbang(2001)의 값 $dP/dt = 9.09 \times 10^{-8} \text{day/year}$ 를 크게 개선한 값이다. 정도의 차이는 있으나 공전주기는 증가하고 있고 이 원인을 질량이 적은 주성에서 나온 물질이 질량이 큰 반성에 강착하는 방식으로 질량이 이동하는 것으로 해석하여, V523 Cas는 팽창 TRO 단계에 있는 것으로 보고 있다.

감사의 글: WD 1992판을 사용할 수 있게 만든 Dr. R. E. Wilson께 감사를 드린다.

참고 문헌

- 김진희 2001, 석사학위논문, 충북대학교
 Bradstreet, D. H. 1981, AJ, 86, 98
 Elias, N. M., & Koch, R. H. 2000, AJ, 120, 1548
 Haussler, K. 1974a, Comm. 27, IBVS, 887
 Haussler, K. 1974b, Mitt. Bruno H. Burgel Sternwarte Hartha 7, 12
 Jeong, J. H., Lee, Y.-S., Yim, J. R., & Leung, K. C. 1993, JA&SS, 10, 103
 Kang, Y. W., & Wilson, R. E. 1989, AJ, 97, 848
 Lavrov, M. I., & Zhukov, G. V. 1975, Astron. Cire. No. 873
 Lee, Y.-S., Jeong, J. H., Park, S. H., Lee, C. U., & Woo, J. O. 1998, JA&SS 15, 75
 Lister, T. A., Mcdermid, R. M., & Hildich, R. W. 2000, MNRAS, 317, 114
 Maceroni, C. 1986, A&A, 170, 43
 Maceroni, C., & van't Veer F. 1996, A&A, 311, 525
 Mengel, J. G., Demarque, P., Sweigart, A. V., & Gross, P. G. 1979, ApJS, 40, 733
 Milone, E. F., Hrvinnak, B. J., & Fisher W. A. 1985, AJ, 90, 354
 Samec, R. G., Banks, D. F., Hernandez, R., Faulkner, D. R., & Williams, D. B. 2001, IBVS, 5175
 Samec, R. G., van Hamme W., & Bookmyer B. B. 1989, AJ, 98, 2287
 Shengbang, Q. 2001, Ap&SS, 278, 415
 Van Hamme, W. 1993, AJ, 106, 209
 Weber, R. 1957, Bull. Soc. Astron. Fr., 71, 36
 Wilson, R. E. 1990, ApJ, 356, 613
 Wilson, R. E. 1992, in New Frontiers in Interacting Binary Star Research (ASP Conf.: Seoul), 91
 Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971, ApJ, 166, 605