

접촉쌍성 CC Com의 측광학적 관측과 분석[†]

정장해[‡], 김천휘, 김용기
충북대학교 천문우주학과

PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF THE CONTACT BINARY SYSTEM CC COM[†]

Jang Hae Jeong[†], Chun-Hwey Kim, and Yonggi Kim
Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University
E-mail: jeongjh@chungbuk.ac.kr

(Received February 1, 2007; Accepted February 28, 2007)

요 약

W UMa형 접촉쌍성 CC Com을 소백산 천문대에서 61cm 망원경과 2K CCD 카메라로 2002년 3월 3일부터 4월 3일까지 3일간 측광관측하여 총 824개의 관측점(ΔB : 206점, ΔV : 206점, ΔR : 206점, ΔI : 206점)을 얻었다. 우리의 관측점으로부터 9개의 새로운 극심시각(주극심: 6개, 부극심: 3개)을 산출하였다. 2004년 Wilson-Devinney(WD) 쌍성 모형 계산 프로그램으로 우리가 얻은 새로운 *BVRI* 광도곡선과 발표된 이중시선속도 곡선들을 결합하여 분석함으로써 CC Com의 세 물리요소를 새롭게 산출하였다. 광도곡선에 나타난 작은 비대칭을 반성에 고온 반점 2개를 도입하여 설명하였다.

ABSTRACT

A total of 824 observations (206 in ΔB , 206 in ΔB , 206 in ΔR , 206 in ΔI) for CC Com were made on 3 nights from March 3 to April 3 in 2002 using the 61cm telescope with 2K CCD camera of the Sobaeksan Optical Astronomy Observatory of KASI. From our observations 9 times of minimum light were newly determined. Combined analysis of our new *BVRI* light curves with the double-lined radial velocity curves of Pribulla et al.(2007) were made with the 2004 Wilson-Devinney(WD) binary model code to yield new physical parameters of the CC Com system. Small asymmetries in light curves were explained with the adoption of two hot spots on the cool secondary.

Keywords: CC Com, *BVRI* CCD observations, times of minimum light, WD solution

1. 서 론

W UMa형 접촉쌍성 중에 CC Com(S 8489, GCS 01986-02106)은 $Sp=K5V$ 이고, 주기가 $P = 0.^d221$ 정도 밖에 안되는 최단 주기를 갖는 W형이다. 이 쌍성은 접촉쌍성의 계열에서 작은 질량, 작은 크기, 낮은 온도 쪽의 끝에 해당하는 독특한 위치에 있기 때문에 중요한 연구의 대상이다.

Hoffmeister(1964)는 이 별이 짧은 주기의 변광성임을 발견하였다. Wenzel(1967)은 측광관측으로 이 별이 W UMa형 쌍성이고 주기가 0.22068일임을 알아냈다. 이것은 주계열성 쌍성계 중에서

[†] 이 연구는 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

[‡]corresponding author

표 1. CC Com, 비교성, 검토성의 좌표와 GSC No.

Star	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	GSC No.	mag.
CC Com	12 12 06	22 31 58	01986-02106	11.6
비교성	12 12 05	22 30 56	01986-01673	13.8
검토성	12 12 45	22 39 03	01986-01818	11.9

주기가 가장 짧은 것이다. 그 광도곡선의 극대 광도가 주극심식각을 전후하여 약 0.02등급 정도 다르며, 극심을 전후하여 광도곡선이 비대칭이다. Kukarkin et al.(1968)에서 CC Com으로 명명되었다. 그 후 Rucinski(1976)는 측광으로 *UBV* 광도곡선을 얻었고 이때 주극심이 개기식이며, 주극심 후의 극대광도가 부극심 후 보다 약간 어둡다는 것을 알았다. 또한 자기의 *BV* 광도곡선과 Rucinski et al.(1977)이 얻은 시선속도곡선($K_1 = 122 \text{ km/s}$, $K_2 = 236 \text{ km/s}$)을 복합해서 분석하므로 이 쌍성계의 절대질량을 구하였다. Maceroni et al.(1982)은 Rucinski(1976)의 *UBV* 광도곡선 중 *BV* 곡선만을 WD model로 분석하여 해를 구하였다. McLean & Hilditch(1983)은 1980년에 DAO에서 관측한 스펙트럼을 분석하여 $K_1 = 113 \text{ km/s}$, $K_2 = 241 \text{ km/s}$, $q_{sp} = 0.47$ 을 얻었고, Pribulla et al.(2007)는 $K_1 = 124.83 \text{ km/s}$, $K_2 = 247.00 \text{ km/s}$ 을 얻었다. Bradstreet(1985)는 *BI* 광도곡선을 얻어 Binnendijk(1977)의 방법으로 해를 구했다. Linnell & Olson(1989)은 자기가 관측해서 얻은 *u, y, I* 광도곡선을 차등보정 방식으로 분석한 결과 q 와 Ω 를 구하였고 fill-out factor의 영년 변화가 있다고 주장하였다. 그 후에도 수 많은 관측 결과와 광도 극심식각들이 보고되었다. 측광 분광 관측 이외에도 Klemola(1977)는 이별의 고유운동($\mu_\alpha \cos \delta(m.e.) = -0.''128 \pm 0.''004$, $\mu_\delta(m.e.) = -0.''010 \pm 0.''004$)을 측정하였다.

광도곡선의 해를 구한 연구들에서, 주성($star_1$; 온도가 높아 가려질 때 주극심을 일으킴)이 질량이 작고 크기도 작은 W형 과접촉쌍성으로 나타났다. 또한 Bradstreet(1985)는 광도곡선에 나타나는 광도극대의 차이를 설명하기 위해서 흑점인자를 도입하기도 하였다. 우리는 이 연구에서 CC Com의 CCD 측광관측을 수행하여 *BVRI* 광도곡선을 완성하고, 이 광도곡선을 WD 방법으로 흑점인자를 고려하여 분석함으로써 새로운 광도곡선 해를 산출하고자 한다.

지금까지 WD code를 사용하여 이 쌍성계의 해를 구한 연구들(Maceroni et al. 1982, Zhou 1988)은 모두 Rucinski(1976)의 *BV*의 2개 광도곡선을 분석한 것이고, Bradstreet(1985)도 *BI*의 2개의 광도곡선만을 분석한 것이다. 그러나 우리의 연구는 관측의 정밀도가 발표된 연구들의 정밀도 보다 크게 향상된 것이고, 또한 *BVRI* 4개의 광도곡선을 동시에 만족하는 해를 구하는 것이기 때문에, 그 결과 CC Com의 새로운 질량과 반경 등의 절대량을 산출함으로써 CC Com 쌍성계를 보다 상세하게 이해하고자 한다.

2. 관측과 광도곡선

우리는 2002년 3월 3일, 4월 1일, 4월 3일(3일 밤)에 소백산 천문대의 61cm 망원경과 2K CCD 카메라를 이용하여 W UMa형 접촉쌍성 CC Com을 *BVRI* 측광 관측하였다. 이때 사용한 비교성과 검토성의 좌표와 Guide Star Catalogue(GSC) No., 등급 등은 표 1에 정리한 바와 같다. 이들 비교성과 검토성의 기계등급은 연구성인 V523 Cas의 값보다 약 2.2등급 어둡고, 위치적으로 연구성 가까이에

표 2. CC Com의 ΔB ΔV ΔR ΔI 관측점.

JD_{\odot} 2452300+					JD_{\odot} 2452300+				
ΔB	ΔV	ΔR	ΔI		ΔB	ΔV	ΔR	ΔI	
37.0283	-0.740	-1.268	-4.291	-3.875	37.3545	-0.529	-1.016	-1.601	-2.015
37.0372	-0.988	-1.528	-2.037	-2.429	37.3606	-0.718	-1.244	-1.780	-2.189
37.0442	-1.114	-1.643	-2.153	-2.546	37.3668	-1.912	-1.412	-8.262	-10.715
37.0504	-1.193	-1.715	-2.224	-2.620	65.9799	-1.318	-1.839	-8.816	-5.138
37.0565	-1.251	-1.763	-2.270	-2.664	65.9896	-1.318	-1.832	-2.338	-2.708
37.0626	-1.296	-1.797	-2.321	-2.684	65.9947	-1.299	-1.805	-2.305	-2.688
37.0688	-1.323	-1.843	-2.334	-2.703	65.9992	-1.270	-1.789	-2.286	-2.667
37.0749	-1.329	-1.833	-2.350	-2.723	66.0036	-1.211	-1.734	-2.255	-2.621
37.0810	-1.320	-1.838	-2.345	-2.704	66.0080	-1.164	-1.696	-2.201	-2.574
37.0872	-1.287	-1.814	-2.314	-2.685	66.0125	-1.105	-1.647	-2.154	-2.535
37.0934	-1.241	-1.765	-2.276	-2.651	66.0180	-0.977	-1.501	-2.045	-2.438
37.0997	-1.170	-1.682	-2.207	-2.599	66.0225	-0.863	-1.388	-1.927	-2.342
37.1059	-1.069	-1.601	-2.108	-2.515	66.0269	-0.708	-1.254	-1.780	-2.198
37.1121	-0.916	-1.449	-1.967	-2.377	66.0317	-0.526	-1.045	-1.596	-2.007
37.1182	-0.700	-1.228	-1.767	-2.181	66.0362	-0.406	-0.966	-1.497	-1.936
37.1244	-0.510	-0.992	-1.577	-2.007	66.0407	-0.411	-0.971	-1.498	-1.939
37.1305	-0.467	-0.987	-1.520	-1.952	66.0451	-0.469	-1.026	-1.575	-2.024
37.1367	-0.568	-1.109	-1.660	-2.079	66.0495	-0.646	-1.184	-1.717	-2.153
37.1429	-0.789	-1.335	-1.857	-2.270	66.0540	-0.811	-1.377	-1.891	-2.287
37.1493	-0.979	-1.517	-2.031	-2.436	66.0584	-0.936	-1.491	-2.013	-2.409
37.1557	-1.107	-1.618	-2.158	-2.543	66.0629	-1.046	-1.588	-2.091	-2.490
37.1619	-1.180	-1.694	-2.225	-2.597	66.0674	-1.123	-1.666	-2.166	-2.559
37.1681	-1.222	-1.735	-2.253	-2.649	66.0718	-1.167	-1.703	-2.208	-2.606
37.1744	-1.255	-1.786	-2.297	-2.680	66.0762	-1.215	-1.740	-2.246	-2.636
37.1807	-1.290	-1.810	-2.318	-2.687	66.0807	-1.235	-1.784	-2.292	-2.676
37.1869	-1.288	-1.801	-2.303	-2.681	66.0851	-1.259	-1.794	-2.311	-2.694
37.1930	-1.274	-1.793	-2.301	-2.674	66.0896	-1.287	-1.815	-2.323	-2.713
37.1993	-1.249	-1.755	-2.279	-2.658	66.0940	-1.288	-1.819	-2.335	-2.716
37.2055	-1.189	-1.713	-2.220	-2.605	66.0984	-1.282	-1.841	-2.323	-2.712
37.2116	-1.121	-1.623	-2.157	-2.551	66.1029	-1.268	-1.811	-2.300	-2.698
37.2178	-1.013	-1.536	-2.068	-2.463	66.1073	-1.228	-1.787	-2.288	-2.676
37.2242	-0.857	-1.388	-1.925	-2.317	66.1118	-1.188	-1.732	-2.259	-2.639
37.2303	-0.679	-1.192	-1.743	-2.146	66.1163	-1.159	-1.694	-2.221	-2.602
37.2365	-0.517	-1.032	-1.595	-2.028	66.1207	-1.107	-1.651	-2.182	-2.571
37.2427	-0.539	-1.026	-1.603	-2.037	66.1252	-1.037	-1.605	-2.124	-2.519
37.2490	-0.719	-1.247	-1.772	-2.186	66.1297	-0.941	-1.500	-2.036	-2.433
37.2552	-0.908	-1.438	-1.968	-2.366	66.1342	-0.823	-1.406	-1.921	-2.321
37.2615	-1.054	-1.584	-2.110	-2.500	66.1386	-0.708	-1.265	-1.812	-2.209
37.2678	-1.156	-1.677	-2.191	-2.583	66.1431	-0.572	-1.131	-1.663	-2.082
37.2740	-1.220	-1.721	-2.235	-2.640	66.1475	-0.491	-1.045	-1.601	-2.016
37.2801	-1.275	-1.774	-2.292	-2.691	66.1521	-0.534	-1.076	-1.624	-2.031
37.2863	-1.314	-1.828	-2.340	-2.733	66.1569	-0.662	-1.220	-1.755	-2.155
37.2925	-1.341	-1.848	-2.367	-2.740	66.1614	-0.819	-1.366	-1.885	-2.301
37.2987	-1.340	-1.851	-2.361	-2.736	66.1658	-0.945	-1.506	-1.989	-2.409
37.3049	-1.316	-1.838	-2.340	-2.717	66.1703	-1.041	-1.588	-2.100	-2.512
37.3111	-1.270	-1.769	-2.276	-2.651	66.1749	-1.134	-1.690	-2.185	-2.580
37.3174	-1.212	-1.720	-2.230	-2.605	66.1793	-1.209	-1.740	-2.245	-2.628
37.3235	-1.142	-1.631	-2.153	-2.545	66.1840	-1.266	-1.781	-2.286	-2.677
37.3297	-1.015	-1.522	-2.048	-2.435	66.1884	-1.306	-1.806	-2.316	-2.703
37.3358	-0.826	-1.333	-1.870	-2.266	66.1929	-1.338	-1.846	-2.342	-2.726
37.3420	-0.611	-1.105	-1.647	-2.065	66.1974	-1.369	-1.876	-2.360	-2.747
37.3482	-0.485	-0.992	-1.534	-1.971	66.2018	-1.374	-1.894	-2.377	-2.761

표 2. (계 속)

JD_{\odot}					JD_{\odot}				
2452300+	ΔB	ΔV	ΔR	ΔI	2452300+	ΔB	ΔV	ΔR	ΔI
66.2063	-1.381	-1.900	-2.383	-2.762	68.1170	-0.943	-1.484	-2.018	-2.428
66.2108	-1.379	-1.890	-2.377	-2.750	68.1214	-0.826	-1.388	-1.893	-2.324
66.2152	-1.342	-1.858	-2.353	-2.732	68.1258	-0.685	-1.243	-1.761	-2.198
66.2198	-1.309	-1.838	-2.330	-2.703	68.1303	-0.555	-1.098	-1.627	-2.069
66.2242	-1.279	-1.803	-2.286	-2.673	68.1348	-0.494	-1.057	-1.606	-2.020
66.2287	-1.253	-1.743	-2.254	-2.642	68.1392	-0.533	-1.075	-1.639	-2.072
66.2331	-1.193	-1.716	-2.201	-2.586	68.1436	-0.663	-1.222	-1.765	-2.181
66.2376	-1.084	-1.603	-2.116	-2.497	68.1480	-0.810	-1.366	-1.889	-2.311
66.2420	-0.972	-1.483	-2.003	-2.399	68.1525	-0.930	-1.482	-2.009	-2.407
66.2465	-0.805	-1.312	-1.870	-2.274	68.1570	-1.037	-1.572	-2.098	-2.506
66.2509	-0.635	-1.165	-1.703	-2.114	68.1614	-1.104	-1.651	-2.160	-2.564
66.2555	-0.501	-1.011	-1.558	-1.990	68.1658	-1.160	-1.708	-2.210	-2.603
66.2600	-0.469	-1.007	-1.534	-1.949	68.1702	-1.210	-1.755	-2.252	-2.649
66.2646	-0.515	-1.027	-1.560	-2.014	68.1747	-1.254	-1.792	-2.291	-2.686
66.2690	-0.660	-1.197	-1.700	-2.157	68.1792	-1.285	-1.822	-2.320	-2.693
66.2736	-0.828	-1.363	-1.852	-2.296	68.1836	-1.308	-1.856	-2.342	-2.708
66.2781	-0.963	-1.488	-1.993	-2.403	68.1880	-1.323	-1.860	-2.373	-2.725
66.2825	-1.048	-1.603	-2.088	-2.509	68.1924	-1.323	-1.844	-2.349	-2.725
66.2870	-1.152	-1.585	-2.143	-2.572	68.1968	-1.316	-1.837	-2.336	-2.725
66.2915	-1.198	-1.679	-2.191	-2.601	68.2013	-1.299	-1.821	-2.317	-2.708
66.2960	-1.211	-1.706	-2.239	-2.649	68.2057	-1.270	-1.796	-2.276	-2.681
66.3004	-2.086	-1.788	-2.295	-12.877	68.2101	-1.235	-1.763	-2.254	-2.664
67.9746	-1.316	-1.829	-4.680	-4.259	68.2146	-1.189	-1.714	-2.225	-2.625
67.9820	-1.290	-1.789	-2.303	-2.671	68.2190	-1.126	-1.660	-2.165	-2.564
67.9864	-1.265	-1.773	-2.281	-2.662	68.2234	-1.050	-1.598	-2.077	-2.492
67.9910	-1.219	-1.731	-2.238	-2.628	68.2278	-0.942	-1.488	-1.984	-2.399
67.9954	-1.175	-1.678	-2.183	-2.584	68.2323	-0.797	-1.332	-1.856	-2.265
68.0004	-1.095	-1.612	-2.128	-2.531	68.2367	-0.623	-1.159	-1.690	-2.113
68.0048	-0.995	-1.529	-2.040	-2.448	68.2411	-0.487	-1.009	-1.553	-1.987
68.0104	-0.819	-1.367	-1.879	-2.276	68.2455	-0.450	-0.997	-1.531	-1.968
68.0149	-0.652	-1.169	-1.732	-2.137	68.2499	-0.483	-0.983	-1.549	-2.014
68.0193	-0.503	-1.018	-1.580	-2.009	68.2544	-0.607	-1.157	-1.676	-2.112
68.0237	-0.432	-0.981	-1.530	-1.972	68.2588	-0.772	-1.304	-1.838	-2.237
68.0281	-0.442	-0.988	-1.530	-1.969	68.2632	-0.915	-1.451	-1.969	-2.359
68.0326	-0.551	-1.096	-1.618	-2.064	68.2676	-1.021	-1.562	-2.059	-2.473
68.0369	-0.712	-1.252	-1.778	-2.221	68.2721	-1.101	-1.618	-2.142	-2.536
68.0414	-0.850	-1.402	-1.932	-2.353	68.2765	-1.162	-1.682	-2.196	-2.589
68.0507	-1.073	-1.619	-2.133	-2.545	68.2809	-1.210	-1.728	-2.219	-2.645
68.0551	-1.127	-1.669	-2.180	-2.597	68.2853	-1.248	-1.763	-2.264	-2.676
68.0595	-1.186	-1.716	-2.244	-2.639	68.2897	-1.280	-1.780	-2.292	-2.671
68.0639	-1.226	-1.770	-2.268	-2.672	68.2941	-1.309	-1.804	-2.330	-2.703
68.0683	-1.261	-1.774	-2.310	-2.689	68.2986	-1.318	-1.815	-2.313	-2.725
68.0727	-1.276	-1.804	-2.305	-2.715	68.3030	-1.321	-1.809	-2.322	-2.709
68.0772	-1.293	-1.824	-2.317	-2.720	68.3074	-1.302	-1.820	-2.322	-2.683
68.0816	-1.298	-1.816	-2.321	-2.693	68.3118	-1.279	-1.794	-2.301	-2.661
68.0860	-1.285	-1.817	-2.318	-2.683	68.3163	-1.269	-1.780	-2.270	-2.652
68.0905	-1.264	-1.785	-2.304	-2.689	68.3207	-1.234	-1.714	-2.233	-2.632
68.0949	-1.238	-1.771	-2.288	-2.678	68.3252	-1.195	-1.682	-2.188	-2.582
68.0993	-1.199	-1.729	-2.243	-2.642	68.3297	-1.142	-1.632	-2.165	-2.535
68.1037	-1.158	-1.703	-2.203	-2.603	68.3341	-1.069	-1.554	-2.059	-2.525
68.1082	-1.103	-1.648	-2.144	-2.566					
68.1126	-1.032	-1.585	-2.088	-2.503					

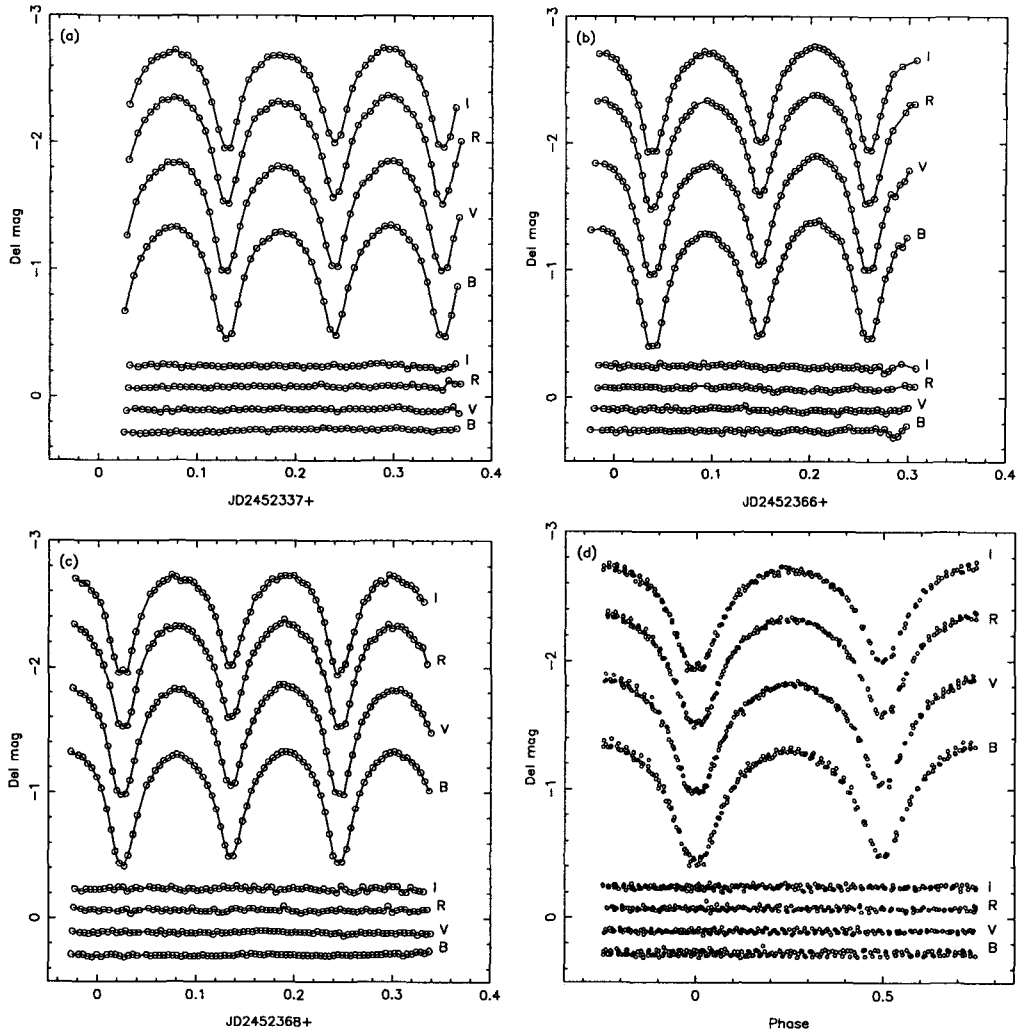


그림 1. 관측일 별로 본 CC Com과 검토성의 ΔB , ΔV , ΔR , ΔI 광도곡선. (a): 2002-3-3, (b): 2002-4-1, (c): 2002-4-3, (d): 관측점 전체

있다.

우리가 얻은 모든 CCD 영상들은 IRAF 패키지를 이용하여 처리하여, 비교성에 대한 연구성과 검토성의 각각의 등급차 $\Delta m(m_* - m_{comp})$ 을 산출하였다. 총 824개의 관측점(ΔB : 206점, ΔV : 206점, ΔR : 2306점, ΔI : 206점)을 얻었다. 이를 표 2에 수록하였다. 우리가 얻은 이 관측점들을 가지고 그림 1과 같은 광도곡선을 만들었다. 날짜별로 그린 각각의 그림에서 상단의 4개의 광도곡선은 연구성의 필터별 광도곡선이고, 아래 4개는 검토성의 광도곡선으로, 관측일 별로 그림 1a,b,c 3개로 구분하였고, 마지막 그림 1d는 3일간의 관측점을 모두 그린 것이다. 1a,b,c의 모든 광도곡선들은 관측 지속 시간이 6시간 정도로 공전주기 전 위상 구간을 여러 차례 반복하여 관측한 셈이다. 그림 1d는 3일 간

표 3. 검토성의 필터별 평균등급(ΔB , ΔV , ΔR , ΔI), 관측점 수(#), 확률오차(pe).

date	ΔB	#	pe	ΔV	#	pe	ΔR	#	pe	ΔI	#	pe
2002-03-03	-1.484	55	0.009	-1.499	55	0.007	-1.531	55	0.008	-1.542	54	0.007
2002-04-01	-1.489	71	0.009	-1.506	72	0.009	-1.527	72	0.013	-1.544	72	0.013
2002-04-03	-1.462	81	0.006	-1.487	81	0.005	-1.515	80	0.008	-1.536	80	0.009

표 4. CC Com의 관측된 극심시각.

제1극심시각 $JD_{\odot}2452300+$	내부오차	제2극심시각 $JD_{\odot}2452300+$	내부오차
37.1290	$\pm.0004$	37.2394	$\pm.0002$
37.3495	$\pm.0005$	66.1486	$\pm.0002$
66.0389	$\pm.0004$	68.1346	$\pm.0005$
66.2596	$\pm.0003$		
68.0248	$\pm.0006$		
68.2454	$\pm.0004$		

의 관측점을 모두 그린 광도곡선이다. 그림 1d에서 위상은 식 (1)

$$Min I = JD_{\odot}2452116.1290 + 0.^d22068623E \quad (1)$$

의 광도요소로 계산하였다. 여기서 $JD_{\odot}2452116.1290$ 는 우리가 얻은 극심시각들(표 4 참조) 중의 하나이고 주기는 Bradstreet(1985)의 값이다. 그림 1에 보인 검토성의 필터별 광도곡선들로부터 관측점들의 평균값과 내부오차를 계산하여 날짜별로 표 3에 수록하였다. 표 3에서 보듯이 우리 관측의 필터별 내부오차는 $0.^m005 \sim 0.^m013$ 이다.

총 824개의 관측점들로부터 9개의 극심시각을 얻었다. 각각의 극심주변에서 적어도 10개 이상의 관측값들에 대해 asymptotic parabola fitting(Marsakova & Andronov 1996)하는 방법으로 극심시각을 결정하였다. 이렇게 구해진 6개의 제1 극심시각과 3개의 제2 극심시각들을 표 4에 제시하였다. 이 방법은 여러 자기격변광성의 극심시각을 구하는데도 사용된 바 있다(Kim et al. 2005a,b, Andronov et al. 2007).

3. 광도곡선의 분석

CC Com의 광도곡선을 분석하기 위해, 우리는 WD2004(Wilson & Van Hamme 2004)을 사용하였다. 이 프로그램을 수행하는데 필요한 입력자료는 관측치, 고정인자들의 값, 조정 인자들의 초기 값, 프로그램 흐름을 제어하는 값 등이다. 우리가 사용한 입력자료는 관측치로서 표 2에 수록한 관측점을 필터별로 100여개의 대표점으로 만든 우리의 광도곡선 자료와 Pribulla et al.(2007)의 시선속도곡선 자료를 사용하였다. 우리가 사용한 고정인자는 g , A , x , y 등인데 그 값으로 Van Hamme(1993)의 $g = 0.32$, $A = 0.5$ 를 사용하였다. 조정인자로 우리가 사용한 i , T_1 , Ω , L_1 , q , V_7 들의 초기 값은 Pribulla et al.(2007)의 $q = 1.8986$, Bradstreet(1985)의 $T_1 = 4300$, $i = 90.0$, $\Omega = 5.047$, Maceroni et al.(1982)의 $L_{1B} = 5.4287$, $L_{2B} = 7.1377$, $L_{1V} = 5.3523$, $L_{2V} = 7.5775$, Bradstreet(1985)의

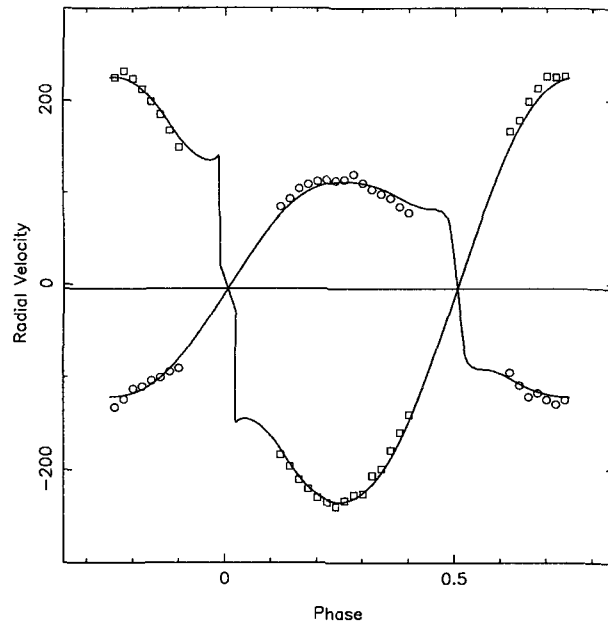


그림 2. 관측점(원과 사각형) 위에 이론적인 속도곡선(실선).

$L_{11} = 4.9888$, $L_{21} = 5.6549$ 등이다. CC Com이 접촉쌍성이므로 모드 1이나 모드 3을 다 사용할 수 있지만 주극심과 부극심의 깊이가 다르므로(그림 1 참조), 우리는 모드 3으로 하여 광도곡선과 시선 속도곡선을 분석하므로 이들을 동시에 만족하는 해를 구하였다.

지금까지 CC Com의 광도곡선 해가 Rucinski(1976), Macaroni et al.(1982), Zhou(1988), Bradstreet(1985) 등에 의해 얻어졌는데, 전자의 세 연구는 모두 Rucinski(1976)의 BV 광도곡선을 각기 다른 방법으로 또는 다른 부분을 분석한 것이고, Bradstreet(1985)는 자기가 관측한 BI 광도곡선을 Binnedijk(1977) 방법으로 분석한 것이다. 이들의 자료들을 표 5의 2, 3, 4, 5번째 칸에, 또 위에 서술한 방식에 의거하여 우리가 구한 해를 6, 7번째 칸에 수록하고, 각 해의 이름을 설명의 편의상, 차례로 a^1 , a^2 , a^3 , b^1 , c^1 , c^2 라고 붙였다. 우리는 두가지 해 c^1 , c^2 를 구했는데, c^1 은 흑점 인자를 고려하지 않은 해이고 c^2 는 흑점 인자를 고려한 해이다. 여기서 얻은 이론적인 시선속도곡선을 그림 2에 실선으로, 관측치(Pribulla et al. 2007)를 네모와 원으로 표시하였다. 또 c^1 , c^2 각각의 해에 의한 필터별 이론적인 광도곡선은 그림 3a,b에 실선으로 표시한 바와 같다. 여기서 원으로 표시한 것은 관측치의 대표점들이다.

그림 3a에서 보듯이 필터별 이론적인 광도곡선은 관측된 대표점들을 전체적으로 잘 맞추고 있으나, 자세히 살펴보면 위상 0.75 부근을 전후해서 이론적인 곡선보다 관측치가 밝고 또 주극심의 좌우가 비대칭으로 나타나는 역-O'Connell 효과가 있다. 우리가 얻은 광도곡선에 나타난 역-O'Connell 효과를 보정하기 위하여 반성(cool star)의 표면에 온도인수가 1.1이고 반경이 약 12° 되는 2개의 뜨거운 흑점(위도 90° 상에, 하나는 경도 260° , 다른 하나는 280° 에)이 있는 것으로 보고, 이들의 값을 초기 값으로하여 광도곡선을 재분석 하였다. 그 결과를 표 5의 6째 칸(해 c^2)에 수록하였고, 그림 3b에

표 5. V523 Cas 광도곡선의 해.

Parameter	a^1 Rucinski (1976)	a^2 Maceroni et al.(1982) WD	a^3 Zhou (1988) WD	b^1 Bradstreet (1985) Binnendijk	c^1 this paper (2007) WD	c^2 this paper (2007) WD
$a(R_{\odot})$					1.687(6)	1.578(5)
$V_0(km/s)$					-2.89	-2.89
Φ					0.0011(3)	0.0056(2)
i	90.0	87.92	87.719	90.0	88.7(5)	88.6(4)
$T_1(K)$	4300	4500	4300	4300	4401(1)	4309(1)
$T_2(K)$	4082	**2	4265	4140(3)	4160	4200(1)
$q(M_2/M_1)$	1.919	**1	0.5873	1.926(3)	1.8986(7)	1.9048(3)
$\Omega_{1,2}$	4.9969	**3	2.7794	5.047(6)	4.964(7)	5.009(6)
$g_{1,2}$	0.32	0.32		0.32	0.32	0.32
$A_{1,2}$	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5
$x_{B1,2}$	0.94	0.97		0.83	0.834, 0.829	0.842, 0.830
$y_{B1,2}$	0.94	0.97		0.83	-0.158, -0.160	-0.161, -0.176
$x_{V1,2}$	0.83	0.78			0.803, 0.801	0.803, 0.801
$y_{V1,2}$	0.83	0.78			0.003, -0.006	0.001, -9.996
$x_{R1,2}$					0.735, 0.747	0.736, 0.747
$y_{R1,2}$					0.109, 0.105	0.108, 0.105
$x_{I1,2}$				0.47	0.638, 0.648	0.639, 0.648
$y_{I1,2}$				0.47	0.156, 0.164	0.156, 0.164
$L_1/(L_1 + L_2)_U$			0.6263			
$L_1/(L_1 + L_2)_B$		0.432(2)	0.6219	0.428(2)	0.426(2)	0.418(2)
$L_1/(L_1 + L_2)_V$		0.426(1)	0.6190		0.412(2)	0.406(2)
$L_1/(L_1 + L_2)_R$					0.401(2)	0.396(2)
$L_1/(L_1 + L_2)_I$				0.397(1)	0.489(1)	0.386(1)
r_1 (pole)	0.316	0.314	0.4455	0.3117(6)	0.3117(6)	0.3128(3)
r_1 (side)	0.332	0.329	0.4842	0.3628(7)	0.3268(8)	0.3280(4)
r_1 (back)	0.373	0.370	0.5402	0.365(1)	0.3653(2)	0.3666(7)
r_2 (pole)	0.423	0.422	0.3593	0.4198(6)	0.4198(3)	0.4189(1)
r_2 (side)	0.452	0.450	0.3856	0.4474(7)	0.4506(3)	0.4464(2)
r_2 (back)	0.485	0.484	0.4669	0.484(1)	0.4793(2)	0.4784(4)
ϕ (spot ₁ * ₂)						90.0
λ (spot ₁ * ₂)						260.0
R (spot ₁ * ₂)						12
T (spot ₁ * ₂)						1.056(4)
ϕ (spot ₂ * ₂)						90.0
λ (spot ₂ * ₂)						280.0
R (spot ₂ * ₂)						12
T (spot ₂ * ₂)						1.056(4)
Fill-out(%)	23.5	21.6	24.4	16.7	24.6	16.9
$\Sigma w(O - C)^2$					0.026408	0.018636

나타내었다. 여기서 이론적인 곡선(실선)은 위상 0.75 부근에서 관측치를 잘 대표하고 있음을 알 수 있다.

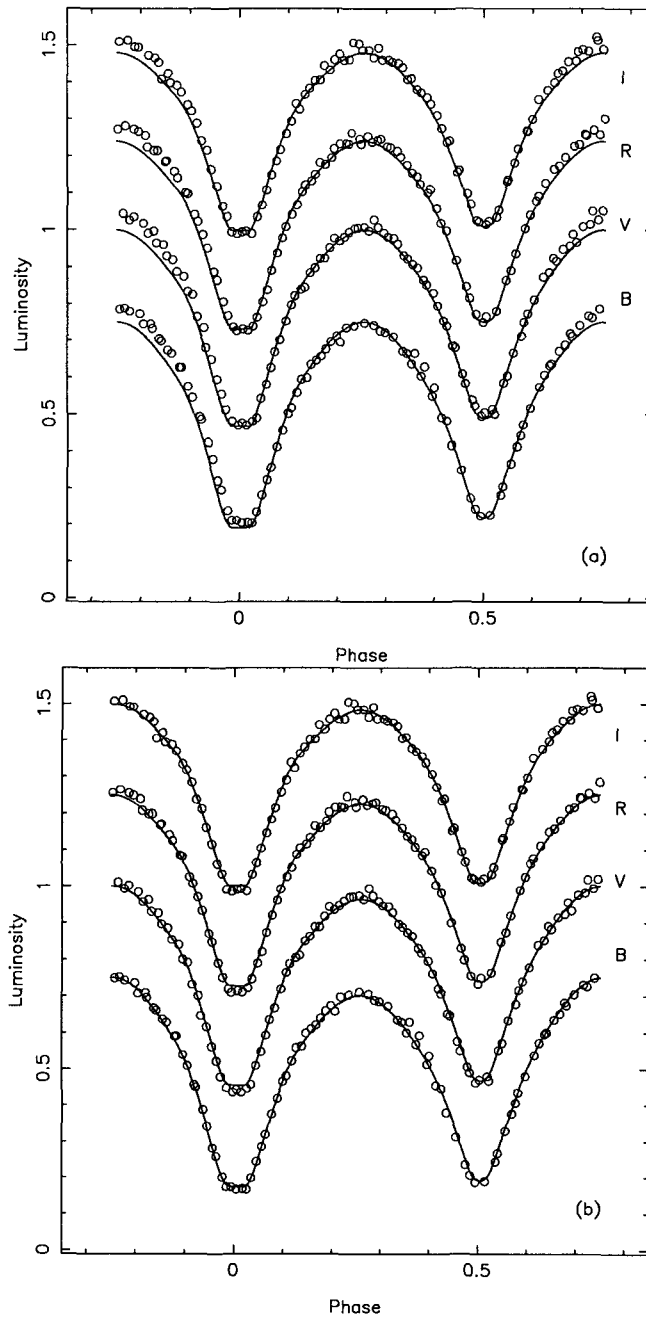


그림 3. CC Com의 광도곡선. 열린 원은 대표점을, 실선은 이론적 광도곡선이다. (a): 흑점을 고려하지 않은 경우, (b): 흑점을 고려한 경우.

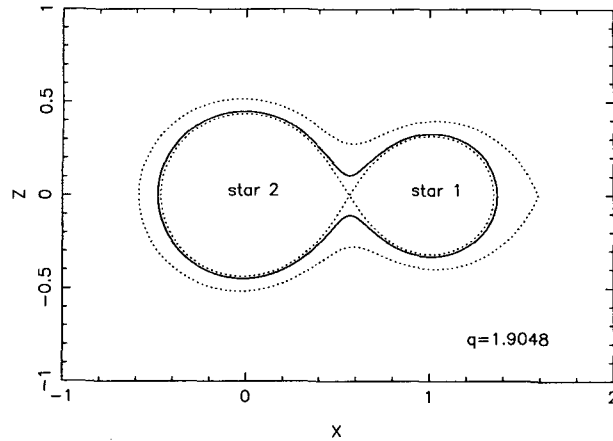


그림 4. CC Com의 Roche 기하.

표 6. V523 Cas 계의 절대량.

source	M_1/M_\odot	M_2/M_\odot	R_1/R_\odot	R_2/R_\odot	$M_{bol,1}$	$M_{bol,2}$
Rucinski et al.(1977)	0.36	0.68	0.51	0.70	...	...
Maceroni et al.(1982)	0.36	0.69	...	...	...	...
Bradstreet (1985)	0.39	0.69	...	...	...	...
Zhou (1988)	0.362	0.62	0.52	0.70	...	...
this paper (해 ^{c1})	0.374	0.710	0.543	0.719	7.20	6.70
this paper (해 ^{c2})	0.374	0.711	0.533	0.710	7.33	6.82

그림 4는 최종 분석 결과(해 ^{c2})에 근거한 CC Com의 3차원 Roche 기하이다. 이 그림에서 실선은 CC Com계의 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 CC Com의 접촉도(fill-out factor: f)는 16.9%이다. 이 그림에서 보듯이 CC Com 쌍성계는 정장해 외(1993)가 계산한 쌍성의 진화단계 모형 중 1-f와 같은 과접촉상태에 있음을 나타내고 있다. Wilson-Devinsky 방법으로 구한 우리 광도곡선의 해와 Pribulla et al.(2007)의 시선속도곡선 해를 결합하여 산출한 CC Com 쌍성계의 절대량은 표 6에 정리 하였다.

4. 토 의

쌍성의 광도곡선에서 일반적으로 나타나는 O'Connell 효과와 같은 변광을 설명하기 위해 Binnendijk(1960)이 처음으로 항성흑점활동 모델을 도입한 이래 많은 연구들(e.g., Linnell & Olson 1989, Bell et al. 1990, Kang et al. 2002, Kim et al. 2003, 정장해 외 2006)에서 응용되었고, 근접쌍성에서의 이런 효과를 Shaw(1994)는 질량교환에 의해 생기는 뜨거운 흑점모델을 도입한 바 있다. 그러나 Liu & Yang(2003)은 물질로 채워진 공동표피 안에 있는 두 성분 별들의 상호 작용에 의한 효과로 과접촉 쌍성의 O'Connell 효과를 설명하고 있다. 1980년대에 이룩한 W UMa 형 쌍성들에 대한 자외선 영역과 x-선 영역에서의 관측 연구들은 질량이 큰 성분 별의 거의 대부분이 채층활동이나 코로나 활

동을 경험한 것으로 보고 있다. 그러므로 광도곡선 상의 변화를 설명하기 위해 항성 흑점 모델을 사용하는 것은 상당한 타당성이 있다.

그럼에도 불구하고 광도곡선의 WD 분석 상 우리는 과도한 크기의 흑점을, 예를 들어 표면적의 30% 정도되는 흑점을 고려해야 하는 때도 있다. 즉, 국지적인 광도의 변화(좁은 위상 구간에서의 현저한 광도 변화)는 그런대도 흑점 모델로 설명할 수 있을 것이다. 그러나 지금 CC Com의 광도곡선에 나타난 것 같이 0.75 전후 넓은 위상 구간(0.6-0.9)에서 광도가 완만하게 높은 경우, 이의 설명을 위해 다른 모델의 제시가 요구되고 있다. 앞절에서 우리는 관측치를 잘 대표하는 이론적인 광도곡선을 얻기 위해, 2개의 큰 흑점($R=12^\circ$) 모형을 선택했다. 이것은 실제로 작은 규모의 상당히 뜨거운 흑점의 개념이 아니라 광범위하며 약간 뜨거운 상태의 준흑점(quasi-spot)의 개념을 반영하고자 한 것이다. CC Com가 공동의 표피를 가진 과접촉 쌍성이라는 점과 또한 역-O'Connell 효과가 관측 시기에 따라 변하지 않았다는 점을 고려하여, Liu & Yang(2003)이 제시한 모델을 적용해본 것이다.

우리가 얻은 해 c^2 가 보여준 모델은 반성(cool star)의 위도 90도, 경도 260-280도 부근에 뜨거운 준흑점(hotquasi-spot) 2개를 가정한 것으로 관측치를 잘 대표하는 해라고 본다. 그것은 해 c^1 의 $\Sigma w(O-C)^2$ 값이 0.026408인데 비해 해 c^2 의 경우 0.018636으로 월등히 개선되었기 때문이다. 이때 V 광도곡선에서 위상 0.25 때와 0.75 때의 광도를 등급으로 환산하여 구한 $\Delta m(MaxI - MaxII) = 0^m.036$ 이다. 그러나 Liu & Yang(2003)의 그림 3에 의하면 $p = 0^d.22$ 정도인 CC Com의 Δm 은 $0^m.06 \sim 0^m.07$ 또는 그 이상되는 불확실성이 큰 영역에서의 값이다.

그림 1a,b,c와 같이 만든 광도곡선에서의 scatter보다 그림 1d와 같이 만들었을 때 scatter가 더 크다. 이것은 두 가지 원인으로 해석할 수 있다. 하나는 별 자체가 night-to-night 변광을 했을 경우, 다른 하나는 관측 및 자료처리에 개선점이 있는 경우이다. 이 문제는 모든 관측 장비와 분석 장비가 놀랄 만큼 진보되었는데 관측의 정밀도는 20년 전 광전측광관측의 수준에 머무르고 있다. 후자의 문제를 개선하기 위해 우리의 관측시스템의 표준화가 시급하다.

감사의 글: WD 2004판을 사용할 수 있게 만든 Dr. R. E. Wilson께, 또 PC용 WD code를 사용하도록 허락한 이재우 박사에게도 감사를 드린다. 관측시간을 할당해 주고, 관측하는 동안 각종 편의 시설을 제공해 준 한국천문연구원 소백산천문대의 여러분에게 감사드린다.

참고 문헌

- 정장해, 김천휘, 이용삼 2006, 한국우주과학회지, 23, 117
 정장해, 이용삼, 임조령, Leung, K. -C. 1993, 한국우주과학회지, 10, 123
 Andronov, I. L., Antoniuk, K. A., Breus, V. V., Chinarova, L. L., Han, W., Jeon, Y. -B., Kim, Y., Kolesnikov, S. V., Oh, J.-Y., Pavlenko, E. P., & Shakhovskoy, N. M. 2007, submitted in A&A
 Bell, S. A., Rangier, P. P., & Hilditch, R. W. 1990, MNRAS, 247, 632
 Binnendijk, B. 1977, Vistas in Astronomy, 21, 359
 Binnendijk, L. 1960, AJ, 65, 385
 Bradstreet, D. H. 1985, AJSS, 58, 413
 Hoffmeister, C. 1964, AN, 288, 49

- Kang, Y. W., Oh, K.-D., Kim, C.-H., Hwang, C., Kim, H.-I., & Lee, W.-B. 2002, *MNRAS*, 331, 707
- Kim, C.-H., Lee, J. W., Kim, S.-L., Han, W., & Koch, R. H. 2003, *AJ*, 125, 322
- Kim, Y., Andronov, I. L., Park, S. S., Chinarova, L. L., Baklanov, A. V., & Jeon, Y. B. 2005a, *JA&SS*, 22, 197
- Kim, Y., Andronov, I. L., Park, S. S., & Jeon, Y. B. 2005b, *A&A*, 441, 663
- Klemola, A. R. 1977, *PASP*, 89, 402
- Kukarkin, B. V., Efremov, Yu. N., Frolov, M. S., Medvedeva, G. I., Kholopov, P. N., Kurochkin, N. E., Kukarkina, N. P., Perova, N. B., & Fedorovich, V. P. 1968, *IBVS*, No.311
- Linnell, A. P. & Olson, E. C. 1989, *ApJ*, 343,909
- Liu, Q. Y. & Yang, Y. L. 2003, *Chin. J. Ap.*, 3, 142
- Maceroni, C., Milano, L., & Russo, G. 1982, *A&AS*, 49, 123
- McLean, B. J. & Hilditch, R. W. 1983, *MNRAS*, 203, 1
- Marsakova, V. I. & Andronov, I. L. 1996, *Odessa Astron. Publ.*, 9, 127
- Pribulla, T., Rucinski, S. M., Conidis, G., DeBond, H., Thomson, J. R., Gazeas, K., & Ogloza, W. 2007, *AJ*, 133, 1977
- Rucinski, S. M. 1976, *PASP*, 88, 777
- Rucinski, S. M., Whelan, J. A. J., & Worden, S. P. 1977, *PASP*, 89, 684
- Shaw, J. S. 1994, *Mem. S. A. It.*, 65,1
- Van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 209
- Wenzel, W. 1967, *Mitt. Verand Sterne, Sonneberg*, 4, 60
- Wilson, R. E. & Van Hamme, W. 2004,
<ftp://ftp.astro.ufl.edu/pub/wilson/lcdc2003/ebdoc2003.2feb2004.ps.gz>
- Zhou, H. N. 1988, *Ap&SS*, 141, 199