

W UMa형 식쌍성 VW Cep의 측광관측과 분석

강봉석, 이용삼, 정장해
충북대학교 천문우주학과

PHOTOMETRIC OBSERVATIONS AND ANALYSIS OF THE W UMa TYPE ECLIPSING BINARY VW Cep

Bong-Seok Kang, Yong-Sam Lee, Jang-Hae Jeong
Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University
Cheongju, 361-763, Korea
E-mail: kangbs@ast.chungbuk.ac.kr

(Received March 31, 2000; Accepted May 20, 2000)

요 약

접촉쌍성 VW Cep의 BV 측광관측을 1999년 4-5월 중 7일간 소백산천문대에서 수행하여 총 1,018개의 관측점을 얻었다. 이 관측 자료를 사용하여 광도곡선을 만들었고 이로부터 극심시각 HJD2451327.2282을 결정하였다. 우리의 광도곡선을 Wilson-Devinney 프로그램을 사용하여 분석하였다. 이때 모드 3을 적용하였고, i, T_2, Ω_1, q, L_1 을 수정인자로, 나머지 요소는 모두 고정인자로 사용하였다. WD 프로그램 초기 입력값으로 T_1, a, V_r 은 Kaszas et al. (1998)의 값을, A는 Hendry et al. (1992)의 값을, X1는 van Hamme (1993)의 값을 사용하였다. 우리의 광도곡선 해와 Kaszas et al. (1998)의 분광학적 해를 결합하여 VW Cep의 절대량 $M_1 = 0.95M_\odot, M_2 = 0.33M_\odot, R_1 = 1.02R_\odot, R_2 = 0.66R_\odot$ 을 산출하였다.

ABSTRACT

A total of 1,018 observations (509 in B, 509 in V) of the eclipsing binary VW Cep was made during 7 nights from April through May in 1999 at Sobaeksan Optical Astronomy Observatory, using the CCD camera attached to the 61cm telescope. A time of minimum light of HJD2451327.2282 was determined from our data, and we constructed BV light curves with the data. Using Wilson-Devinney's binary model, we analyzed the light curves. The absolute dimension of $M_1 = 0.95M_\odot, M_2 = 0.33M_\odot, R_1 = 1.02R_\odot, R_2 = 0.66R_\odot$ of the VW Cep system were derived from our light curve solution and Kaszas et al. (1998) spectroscopic result.

1. 서 론

식쌍성 VW Cep (HD197433, BD+75°752, SAO9828)는 많은 관측이 수행되었던 W UMa형의 식쌍성으로 알려져 있다. 이 쌍성의 광도 변화는 Schilt (1926)가 처음 발견한 이래로 지금까지 X-선

에서부터 적외선까지 여러 파장영역에서 관측되어 왔다. 특히 겔보가 평균등급이 $V = 7^m.5$, 궤도공전주기가 $P = 0^d.2783$ 로 관측이 용이하여 대체로 많은 관측자료가 발표되었다. 해마다 VW Cep의 광도곡선에서는 극대의 밝기와 극소의 밝기의 변화가 있어왔다. Bradstreet & Guinan (1988)은 광도변화의 주기를 약 7~8년 정도로 제시하고 있으며, 이러한 광도의 변화를 Kwee (1966a), Hopp et al. (1979), Guinan (1980), Guinan et al. (1980), Jay & Guinan (1997) 등 여러 학자들이 광도곡선의 해를 발표하였으나 하나로 일치되지는 않고 있다. 하지만 최근에 어둡고 차가운 흑점의 모델 이론이 여러 해 동안의 광도곡선을 다 만족하지는 못하지만 대체로 받아들여지고 있는 실정이다.

Guinan & Gimenez (1993)은 VW Cep의 광도곡선은 매우 자주 비대칭적인 모습을 보이며 이러한 비대칭은 아마도 별 표면의 상당한 부분이 거대한 흑점으로 덮혀 있기 때문이라고 하였고, Vinko et al. (1993)은 강한 채층 활동의 결과로 보았으며, Abbott & Rumignani (1994)는 질량이 큰 성분 별에 차가운 흑점이 존재하기 때문이라고 하였다. VW Cep의 광도곡선의 불안정을 설명하기 위해 Kwee (1966b)는 항성주변에 고리모양이 있다고 하였고, Walter (1979)는 회전축의 정교한 세차운동 때문이라고 하였으며, 가스 흐름에 기인한 뜨거운 흑점 (van't Veer 1973, Pustyl'nik & Sorgsepp 1976)과 어둡고 차가운 흑점 (Yamasaki 1982, Linnell 1986, Linnell 1991, Hendry et al. 1992) 등 많은 모델들이 나왔다. 하지만 현재는 이중에서 마지막의 어둡고 차가운 흑점 모델이 실제와 잘 맞는 모델로 판명되어지고 있다. Hendry et al. (1992)는 Maximum Entropy Method에 기초를 두고 VW Cep에 대해 좀 더 정교한 접근을 통해 광도곡선의 비대칭적인 변화를 흑점 모델로 성공적으로 설명하였다. 또한 별 표면의 어두운 흑점의 존재 가능성은 VW Cep의 관측된 다른 현상들로 설명되고 있으며, 이것은 활발한 별 표면의 활동을 나타내는 것으로 여겨진다. 이러한 표면 활동으로는 채층에서 방출된 $H\alpha$ 방출선의 증가 (Barden 1985), 항성의 빠른 자전속도 (Vilhu & Walter 1987, Rucinski 1993), 전파에서 X-선까지 많은 파장대에서 관측되는 플레어 현상 (Vilhu et al. 1988), 태양 흑점의 주기처럼 천천히 일어나는 광도곡선 변화의 강도와 빈도수의 주기적인 변화 (Bradstreet & Guinan 1988) 등으로 설명되어지고 있다. Stepien (1995)은 최근 계산으로 근접쌍성이 형성되는데 있어서 자기장이 매우 중요한 역할을 한다는 사실을 제안하였고, Tsuru et al. (1992)는 Ginga의 X-선 플럭스의 관측은 대략 10Kev의 코로나 온도를 보이며 이러한 매우 높은 온도는 쌍성에서 어떤 종류의 자기장의 영향에 기인한다고 하였다.

VW Cep는 측광관측에 비해 분광관측은 그리 많지 않다. 이것은 아마도 이 쌍성계의 짧은 공전주기와 매우 넓고 복잡한 스펙트럼선 때문이라 생각된다. VW Cep의 스펙트럼 관측은 Popper (1948)가 처음으로 실시하였는데, 스펙트럼형은 G8-K0과 질량비는 $q = 0.33$ 로 결정하였다. 그 후에 Binnendijk (1967)은 $q = 0.41$ 로 발표하였고, 최근 Hill (1989)의 고분산 또는 중분산의 분광관측으로 Hill (1989)은 $q = 0.27$ 라는 이전의 비해 작은 값을 제시하였다. 그는 정밀한 cross-corealtion technique을 사용하였고, 이전의 값보다 좀 더 실질적인 결과를 만들어 냈다. 이러한 값의 차이는 이계의 복잡한 line profile과 다른 큰 불확실한 parameter 때문이고, 과거에 쓰이던 저분산의 분광관측으로는 측정하기 어려웠기 때문으로 생각된다. 이 값들은 Hendry (1997)의 결과와 잘 일치하고 있으며 최종적으로 Kaszas et al. (1998)은 질량비 ($q = M_2/M_1$)를 0.35로 제시하고 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 VW Cep의 측광관측과 광도곡선의 분석 연구들이 많이 이루어져 왔으나 아직까지도 VW Cep에 있을 것이라는 흑점의 특징과 채층에서의 활동 및 진화 상태에 대해서는

표 1. VW Cep와 비교성의 좌표 및 분광형.

Star	HD No.	R.A.(2000) (^h ^m ^s)	Dec.(2000) (^o ' ")	Sp.	m_v
VW Cep	197433	20 37 21.5	+75 36 01.5	G8 + K0	7.5
Comp. star	197665	20 38 05.1	+76 49 59.4	F2	7.6

확실하게 규명된 것이 없으며, W UMa형 근접 식쌍성의 특징적인 현상을 가장 많이 보이고 있는 별로써 광도곡선의 형태도 매년 변하고 있어 이 별의 현상을 분석하기 위해서는 새로운 광도곡선을 만들기 위한 지속적인 관측이 필요하다.

그래서 우리는 보다 정밀한 측광관측을 실시하고 여기서 얻어진 관측자료를 가지고 흑점인자를 포함하여 Wilson-Devinney (WD) 방법으로 우리의 광도곡선을 분석하며, 우리의 극심시각 자료와 과거의 관측자료를 이용하여 VW Cep의 새로운 주기 변화의 양상을 살펴본다. 또한 Kaszas et al. (1998)이 계산한 시선속도 자료를 사용하여 VW Cep의 질량과 반경 등의 절대량을 산출하여 물리적인 특성을 살펴보고자 한다.

2. 관측과 광도곡선

식쌍성 VW Cep의 BV 측광관측을 1999년 4-5월 기간에 소백산천문대에서 61cm 반사망원경과 액체질소로 냉각하는 CCD 카메라를 사용하여 수행하였다. 이때 사용한 관측 프로그램은 박남규 (1993)의 DIPHO 이고, 자료처리에는 이재우 (1997)의 것을 이용하였다. VW Cep 측광관측을 위하여 비교성으로 HD197665를 관측하였다. 관측성과 비교성에 대한 분광형 및 등급은 표1에 정리하였다. 우리는 이번 관측기간에 총 7일 밤 관측에 성공하여서 B 필터와 V 필터로 각각 509점 씩의 관측 데이터를 얻었는데 이를 표2에 각각 JD_{\odot} 와 ΔB , JD_{\odot} 와 ΔV 로 정리하였다. 각각의 관측 오차 (p.e.)를 비교성의 대기밖 등급을 가지고 계산하였는데, 그 값은 B 필터에 대해서 ± 0.003 등급, V 필터에 대해서 ± 0.004 등급이다.

우리가 얻은 BV 관측점들을 가지고 그림 1과 같이 가로축은 위상, 세로축은 등급으로 표시하는 광도곡선을 완성하였는데, 관측점들이 광도곡선의 모든 위상을 고루 커버하고 있다. 여기서 위상은 Karimie (1983)의 광도요소

$$\text{Min } I = \text{HJD } 2433898.4410 + 0.2731793 E \quad (1)$$

으로 계산한 것이다. 그림 1의 광도곡선을 살펴보면 주극심에서 B 필터가 V 필터보다 좀 더 깊게 관측되었고, 각 필터별로의 제1극심과 제2극심과의 밝기가 비슷하게 나타났다. 또한 관측점들의 분산은 비교적 심하며, 약간 비대칭의 모습을 볼 수 있다. 우리가 얻은 광도곡선의 주극심 부근의 관측점을 가지고 극심시각 HJD2451327.2282을 결정하였는데, 여기에는 포그슨의 이분법을 적용한 임조령 (1991)의 프로그램을 사용하였다.

표 2a. VW Cep의 B 관측점.

JD_{\odot}	ΔB	JD_{\odot}	ΔB	JD_{\odot}	ΔB	JD_{\odot}	ΔB
2451000+		2451000+		2451000+		2451000+	
294.1979	.6818	294.2962	.6776	297.2456	.6458	298.1733	.8135
294.1995	.6462	294.2975	.6452	297.2471	.6601	298.1748	.8117
294.2010	.6728	294.2989	.6559	297.2486	.6275	298.1763	.8245
294.2025	.6860	294.3003	.6693	297.2502	.6392	298.1777	.7814
294.2040	.6982	294.3016	.6591	297.2518	.6389	298.1792	.7677
294.2055	.7225	294.3030	.6427	297.2533	.6546	298.1807	.7719
294.2069	.6990	294.3044	.6290	297.2548	.6677	298.1821	.7758
294.2158	.7581	294.3057	.6350	297.2563	.6726	298.1836	.7631
294.2172	.7675	294.3071	.6320	297.2579	.6633	298.1850	.7542
294.2187	.7684	294.3085	.6401	297.2594	.6734	298.1864	.7389
294.2201	.7691	294.3099	.6260	297.2610	.6917	298.1878	.7470
294.2216	.8044	294.3112	.6327	297.2625	.6762	298.1892	.7196
294.2231	.7877	294.3126	.6195	297.2640	.7139	298.1906	.7300
294.2245	.8088	294.3140	.6142	297.2655	.6932	298.1921	.7342
294.2260	.8274	294.3153	.6047	297.2670	.7198	298.1935	.7079
294.2274	.8475	294.3167	.6210	297.2685	.7197	298.1949	.7070
294.2288	.8535	294.3181	.6044	297.2701	.7182	298.1963	.6929
294.2303	.8615	294.3194	.6450	297.2716	.7308	298.1977	.6844
294.2324	.8512	294.3208	.6296	297.2732	.7390	298.1991	.6967
294.2338	.9027	294.3222	.6222	297.2748	.7451	298.2005	.6799
294.2352	.8858	294.3236	.6419	297.2763	.7682	298.2018	.6695
294.2365	.9164	294.3249	.6241	297.2778	.7635	298.2032	.6713
294.2379	.9341	297.1793	.0154	297.2794	.7681	319.1704	.9276
294.2392	.9246	297.1808	.9851	297.2810	.7893	319.1748	.8501
294.2406	.9337	297.1824	.9391	297.2825	.7918	319.1763	.8627
294.2419	.9587	297.1839	.9269	297.2841	.7980	319.1778	.8385
294.2433	.9641	297.1855	.9108	297.2857	.8191	319.1793	.8265
294.2446	.9564	297.1870	.8954	297.2872	.8564	319.1808	.8040
294.2460	.9609	297.1885	.8640	297.2887	.8646	319.1822	.8056
294.2474	.9458	297.1900	.8660	297.2902	.8542	319.1837	.7593
294.2487	.9762	297.1916	.8438	297.2917	.8754	319.1851	.7688
294.2501	.9756	297.1931	.8225	297.2932	.8846	319.1866	.7393
294.2528	.9623	297.1947	.8147	297.2948	.9041	319.1881	.7555
294.2542	.9494	297.1962	.8193	297.2963	.9217	319.1896	.7518
294.2555	.9582	297.1977	.7947	297.2979	.9225	319.1910	.7226
294.2569	.9335	297.1993	.8010	297.2994	.9372	319.1925	.7008
294.2582	.9407	297.2008	.7710	297.3009	.9607	319.1969	.7217
294.2596	.9249	297.2023	.7579	297.3025	.9607	319.1999	.6634
294.2610	.9198	297.2039	.7577	297.3041	.9686	319.2014	.6492
294.2623	.8951	297.2055	.7445	297.3057	.9754	319.2087	.6162
294.2637	.9048	297.2070	.7475	297.3072	.9837	319.2103	.6362
294.2650	.8936	297.2085	.7297	297.3088	.9550	319.2162	.6005
294.2664	.8821	297.2101	.7317	297.3103	.9841	319.2192	.6078
294.2677	.8672	297.2114	.6665	297.3114	.0003	319.2206	.6069
294.2691	.8548	297.2209	.6677	297.3150	.9771	319.2221	.6086
294.2705	.8289	297.2225	.6788	297.3164	.9918	319.2236	.6244
294.2718	.8415	297.2240	.6550	297.3180	.9846	319.2251	.5987
294.2732	.8355	297.2256	.6624	297.3195	.9471	319.2266	.6168
294.2746	.8309	297.2271	.6713	297.3211	.9408	319.2281	.5933
294.2759	.8240	297.2286	.6768	297.3227	.9245	319.2326	.6225
294.2773	.7946	297.2302	.6527	297.3242	.9364	319.2341	.6148
294.2787	.7839	297.2317	.6500	297.3258	.9378	319.2356	.6197
294.2801	.7888	297.2332	.6340	297.3273	.9342	319.2372	.6184
294.2814	.7792	297.2347	.6353	298.1618	.8801	319.2402	.6360
294.2828	.7721	297.2362	.6430	298.1633	.8797	319.2418	.6194
294.2891	.7436	297.2378	.6329	298.1659	.8571	319.2433	.6054
294.2905	.7144	297.2394	.6389	298.1674	.8476	319.2448	.6206
294.2919	.7066	297.2410	.6312	298.1689	.8552	319.2479	.6356
294.2933	.6983	297.2425	.6249	298.1704	.8489	319.2494	.6485
294.2948	.6849	297.2441	.6397	298.1719	.8355	319.2508	.6500

표 2a. (계속)

JD_{\odot}	ΔB	JD_{\odot}	ΔB	JD_{\odot}	ΔB	JD_{\odot}	ΔB
2451000+		2451000+		2451000+		2451000+	
319.2523	.6600	320.1788	.7669	321.1570	.7003	326.1110	.9773
319.2539	.6655	320.1804	.7425	321.1586	.6961	326.1124	.0163
319.2569	.7178	320.1820	.7336	321.1601	.6703	326.1139	.0184
319.2584	.7027	320.1836	.7189	321.1617	.6925	326.1154	.0420
319.2599	.7106	320.1851	.6776	321.1632	.6273	326.1169	.0382
319.2614	.7340	320.1866	.7163	321.1648	.6496	327.1505	.6440
319.2630	.7368	320.1882	.6568	321.1664	.6286	327.1520	.6260
319.2645	.7638	320.1898	.6865	321.1680	.6696	327.1536	.6318
319.2660	.7656	320.1914	.6551	321.1696	.6363	327.1551	.6221
319.2675	.7899	320.1930	.6357	321.1712	.6532	327.1566	.6235
319.2706	.8071	320.1946	.6426	321.1728	.6442	327.1582	.6205
319.2721	.7988	320.1962	.6804	321.1816	.6030	327.1597	.6054
319.2766	.8845	320.1977	.6797	321.1831	.6123	327.1613	.6289
319.2782	.8751	320.1993	.6562	321.1847	.6531	327.1628	.6207
319.2797	.9109	320.2009	.6669	321.1862	.6342	327.1643	.6162
319.2812	.8858	320.2058	.6674	321.1878	.6411	327.1659	.6230
319.2828	.8968	320.2074	.6519	321.1894	.6417	327.1675	.6297
319.2844	.9112	320.2107	.6566	321.1909	.6643	327.1690	.6140
319.2859	.9214	320.2124	.6728	321.1925	.6592	327.1706	.6237
319.2875	.9307	321.0800	.8000	321.1941	.6507	327.1720	.6235
319.2890	.9300	321.0815	.8228	321.1957	.7046	327.1736	.6302
319.2906	.9437	321.0830	.8318	321.1972	.6921	327.1751	.6188
319.2922	.9362	321.0844	.8364	321.1988	.6827	327.1767	.6148
319.2953	.9649	321.0859	.8788	321.2004	.7125	327.1783	.6346
319.2968	.9838	321.0873	.8852	321.2019	.7425	327.1798	.6464
319.2984	.9873	321.0889	.9205	321.2035	.6947	327.1814	.6665
320.1188	.9099	321.0904	.9600	321.2051	.7273	327.1830	.6689
320.1203	.9577	321.0919	.9333	321.2066	.7233	327.1845	.6750
320.1218	.9911	321.0934	.9971	321.2081	.7458	327.1861	.6745
320.1233	.0056	321.0979	.0561	321.2097	.7143	327.1877	.6630
320.1248	.0252	321.1010	.0750	321.2113	.8075	327.1893	.6932
320.1263	.0100	321.1025	.0375	321.2129	.7795	327.1909	.7156
320.1278	.0387	321.1055	.0100	321.2144	.7569	327.1925	.7142
320.1292	.0574	321.1086	.0398	321.2160	.7331	327.1940	.7214
320.1308	.0409	321.1117	.9964	321.2175	.7727	327.1956	.7259
320.1323	.0547	321.1133	.0057	321.2191	.8030	327.1973	.7550
320.1338	.0099	321.1148	.9539	321.2207	.7680	327.1989	.7569
320.1353	.0625	321.1164	.9742	321.2222	.8260	327.2005	.7741
320.1368	.0306	321.1179	.9048	321.2238	.8239	327.2021	.7701
320.1383	.0254	321.1195	.9259	321.2253	.8449	327.2038	.7830
320.1399	.0256	321.1210	.9630	321.2268	.8560	327.2054	.8416
320.1415	.0283	321.1226	.9652	321.2284	.9120	327.2070	.8409
320.1430	.0311	321.1257	.9136	321.2300	.9084	327.2086	.8573
320.1445	.9847	321.1272	.8382	321.2316	.9448	327.2103	.8660
320.1461	.9629	321.1287	.8217	321.2400	.9360	327.2119	.8485
320.1476	.9519	321.1303	.8387	321.2415	.9573	327.2135	.8623
320.1491	.9580	321.1319	.8437	321.2431	.9829	327.2151	.9112
320.1507	.9156	321.1334	.7760	321.2446	.9937	327.2167	.9257
320.1538	.9287	321.1350	.7786	321.2461	.9816	327.2183	.9284
320.1553	.8961	321.1366	.7762	321.2477	.9826	327.2199	.9384
320.1568	.8868	321.1382	.7805	321.2492	.9920	327.2214	.9553
320.1584	.8590	321.1397	.7473	326.0978	.8868	327.2230	.9636
320.1599	.8624	321.1429	.7359	326.0992	.9365	327.2247	.9623
320.1615	.8748	321.1445	.7547	326.1007	.9380	327.2262	.9729
320.1631	.8683	321.1461	.7750	326.1022	.9501	327.2278	.9662
320.1646	.8389	321.1492	.7065	326.1037	.9969	327.2294	.9992
320.1662	.8087	321.1508	.6847	326.1051	.9721	327.2310	.0337
320.1678	.7936	321.1523	.6659	326.1066	.0010	327.2326	.9744
320.1709	.7885	321.1539	.7026	326.1081	.9999	327.2342	.9515
320.1741	.7437	321.1555	.6939	326.1095	.0066	327.2358	.9608

표 2a. (계속)

JD_{\odot}		JD_{\odot}		JD_{\odot}	
2451000+	ΔB	2451000+	ΔB	2451000+	ΔB
327.2390	.8935	327.2567	.7914	327.2730	.6713
327.2422	.8625	327.2583	.7283	327.2746	.6376
327.2438	.8626	327.2599	.7151	327.2763	.6714
327.2454	.8375	327.2616	.7391	327.2779	.6584
327.2470	.8434	327.2632	.6864	327.2812	.6335
327.2486	.8064	327.2648	.7017	327.2829	.6268
327.2502	.7924	327.2665	.6647	327.2845	.6069
327.2519	.7528	327.2682	.6797	327.2862	.5976
327.2535	.7615	327.2698	.6917	327.2878	.6034
327.2551	.7762	327.2714	.6621		

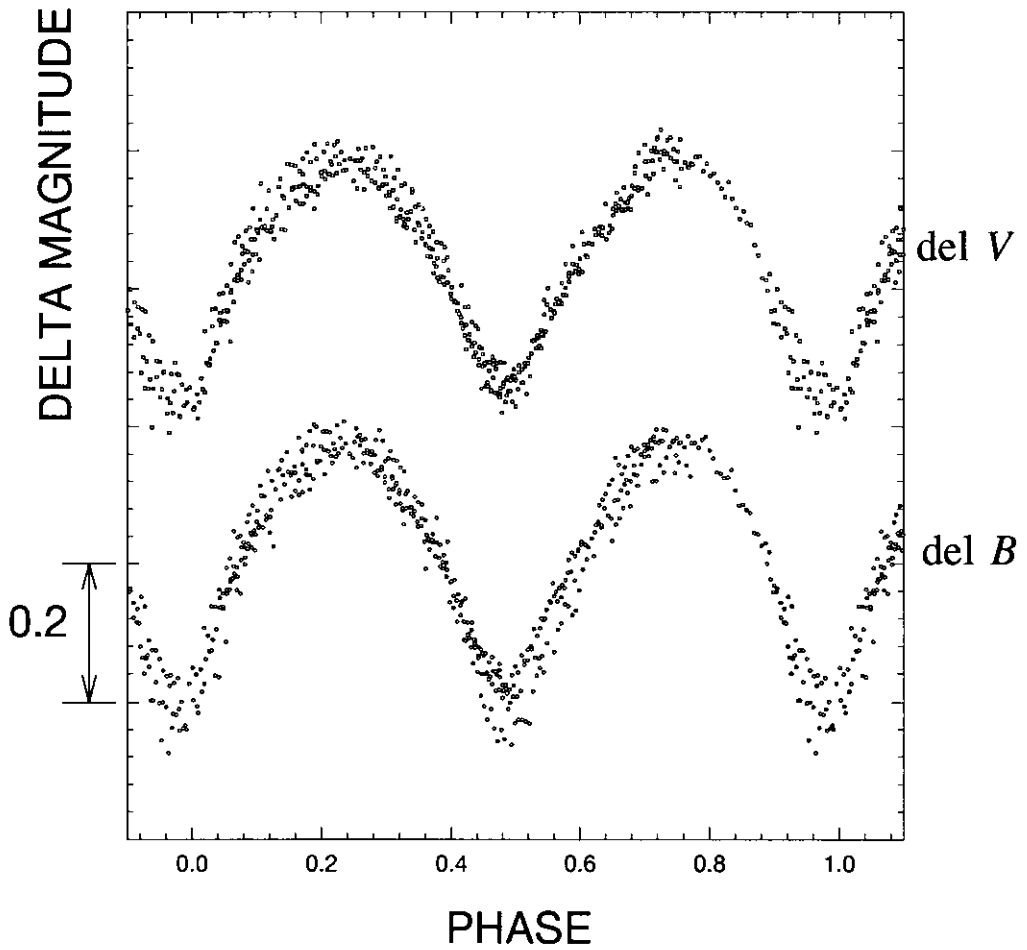


그림 1. 1999년에 관측한 VW Cep의 $\Delta B, \Delta V$ 광도곡선.

표 2b. VW Cep의 V 관측점.

JD_{\odot}	ΔV	JD_{\odot}	ΔV	JD_{\odot}	ΔV	JD_{\odot}	ΔV
2451000+		2451000+		2451000+		2451000+	
294.1982	.2376	294.2965	.2844	297.2459	.2440	298.1737	.3820
294.1998	.2598	294.2978	.2871	297.2474	.2549	298.1751	.3778
294.2013	.2835	294.2992	.2817	297.2490	.2278	298.1766	.3747
294.2028	.3030	294.3006	.2876	297.2505	.2317	298.1781	.3712
294.2043	.2952	294.3019	.2851	297.2521	.2271	298.1795	.3755
294.2058	.2995	294.3033	.2694	297.2536	.2444	298.1810	.3518
294.2073	.2904	294.3047	.2507	297.2551	.2464	298.1824	.3339
294.2161	.3528	294.3060	.2227	297.2567	.2538	298.1839	.3357
294.2175	.3540	294.3074	.2030	297.2582	.2512	298.1853	.3218
294.2190	.3632	294.3088	.2544	297.2598	.2657	298.1867	.3185
294.2205	.3847	294.3102	.1915	297.2613	.2654	298.1881	.3110
294.2219	.3819	294.3115	.2635	297.2628	.2578	298.1896	.2772
294.2234	.3942	294.3129	.2002	297.2643	.2982	298.1910	.3193
294.2248	.3905	294.3143	.1957	297.2658	.2969	298.1924	.3131
294.2263	.4142	294.3156	.1800	297.2674	.3094	298.1938	.2771
294.2277	.4175	294.3170	.1695	297.2688	.3117	298.1952	.2803
294.2292	.4319	294.3184	.2051	297.2704	.2887	298.1966	.2858
294.2306	.4413	294.3197	.1845	297.2719	.3151	298.1980	.2751
294.2327	.4522	294.3211	.1807	297.2735	.3050	298.1994	.2837
294.2341	.4750	294.3225	.1977	297.2751	.3272	298.2008	.2655
294.2355	.4808	294.3239	.2155	297.2766	.3357	298.2021	.2547
294.2366	.4922	294.3252	.1838	297.2782	.3245	298.2035	.2530
294.2382	.5099	297.1797	.5646	297.2797	.3432	319.1707	.5009
294.2395	.4859	297.1812	.5444	297.2813	.3683	319.1751	.4348
294.2409	.5096	297.1827	.5068	297.2828	.3904	319.1766	.4319
294.2422	.5349	297.1842	.5091	297.2844	.3836	319.1781	.4307
294.2436	.5478	297.1858	.4891	297.2860	.3916	319.1796	.4055
294.2449	.5030	297.1873	.4785	297.2875	.4073	319.1811	.3873
294.2463	.5071	297.1888	.4514	297.2890	.4195	319.1825	.3883
294.2477	.5431	297.1903	.4463	297.2905	.4320	319.1840	.3733
294.2490	.5348	297.1919	.4322	297.2920	.4497	319.1854	.3645
294.2504	.5309	297.1934	.4018	297.2936	.4671	319.1869	.3462
294.2531	.5251	297.1950	.3877	297.2951	.4741	319.1884	.3285
294.2545	.5316	297.1965	.3795	297.2966	.4831	319.1899	.3284
294.2558	.5101	297.1981	.3495	297.2982	.4912	319.1914	.3189
294.2572	.5161	297.1996	.3473	297.2997	.5013	319.1929	.3108
294.2585	.5112	297.2011	.3589	297.3013	.5122	319.1973	.3098
294.2599	.5070	297.2027	.3504	297.3029	.5407	319.2002	.2524
294.2612	.4928	297.2042	.3138	297.3044	.5179	319.2017	.2659
294.2626	.4744	297.2058	.3000	297.3060	.5279	319.2091	.2299
294.2640	.4709	297.2073	.3128	297.3075	.5503	319.2106	.2341
294.2653	.4592	297.2088	.3158	297.3091	.5510	319.2165	.2119
294.2667	.4373	297.2104	.3178	297.3106	.5360	319.2195	.2014
294.2680	.4232	297.2197	.2536	297.3137	.5317	319.2210	.1899
294.2694	.4297	297.2213	.2527	297.3153	.5261	319.2224	.2154
294.2708	.4325	297.2228	.2517	297.3168	.5445	319.2239	.1917
294.2721	.4140	297.2244	.2486	297.3183	.5353	319.2254	.1864
294.2735	.4174	297.2259	.2525	297.3198	.5074	319.2269	.2022
294.2749	.4086	297.2274	.2577	297.3214	.4994	319.2284	.2138
294.2762	.4094	297.2289	.2586	297.3230	.4746	319.2329	.2146
294.2776	.3897	297.2305	.2637	297.3246	.4856	319.2344	.1974
294.2790	.3378	297.2320	.2316	297.3261	.4820	319.2359	.2110
294.2803	.3743	297.2335	.2294	297.3276	.4677	319.2375	.1963
294.2817	.3783	297.2350	.2333	298.1621	.4656	319.2405	.1950
294.2831	.3177	297.2365	.2199	298.1636	.4614	319.2421	.2162
294.2894	.3220	297.2381	.2082	298.1662	.4420	319.2436	.2089
294.2908	.3099	297.2397	.2196	298.1677	.4350	319.2451	.2281
294.2922	.3122	297.2413	.2288	298.1692	.4219	319.2482	.2085
294.2936	.3283	297.2428	.2281	298.1707	.4214	319.2497	.2397
294.2950	.3083	297.2444	.2117	298.1722	.3986	319.2512	.2279

표 2b. (계속)

JD_{\odot}	ΔV	JD_{\odot}	ΔV	JD_{\odot}	ΔV	JD_{\odot}	ΔV
2451000+		2451000+		2451000+		2451000+	
319.2527	.2508	320.1791	.2935	321.1573	.2770	326.1113	.5657
319.2542	.2481	320.1807	.2610	321.1589	.2770	326.1128	.5475
319.2572	.2557	320.1823	.2704	321.1604	.2658	326.1142	.5224
319.2587	.2817	320.1839	.2530	321.1620	.2527	326.1157	.5860
319.2602	.2787	320.1854	.2752	321.1636	.2843	326.1172	.5700
319.2618	.3179	320.1869	.2855	321.1651	.2515	327.1508	.2156
319.2633	.2998	320.1885	.2321	321.1667	.2374	327.1523	.2150
319.2648	.3094	320.1901	.2572	321.1683	.2418	327.1539	.2141
319.2663	.3176	320.1917	.2544	321.1699	.2344	327.1554	.2020
319.2679	.3326	320.1933	.2362	321.1715	.2361	327.1570	.2123
319.2709	.3602	320.1949	.2408	321.1731	.2326	327.1585	.2269
319.2724	.3546	320.1965	.2336	321.1819	.2150	327.1600	.2042
319.2770	.4211	320.1980	.1832	321.1834	.2141	327.1616	.2105
319.2785	.3952	320.1996	.2022	321.1850	.2565	327.1631	.2153
319.2800	.4267	320.2012	.2006	321.1865	.2372	327.1647	.2011
319.2816	.4264	320.2061	.2428	321.1881	.2440	327.1662	.2259
319.2831	.4482	320.2078	.2525	321.1897	.2255	327.1678	.2169
319.2847	.4536	320.2111	.2235	321.1912	.2555	327.1693	.2247
319.2862	.4843	320.2127	.2186	321.1928	.2495	327.1709	.2198
319.2878	.4941	321.0803	.4026	321.1944	.2485	327.1723	.2090
319.2893	.5062	321.0818	.4327	321.1960	.2839	327.1739	.2080
319.2909	.5060	321.0833	.4309	321.1975	.2819	327.1755	.2298
319.2925	.5090	321.0848	.4512	321.1991	.2710	327.1770	.2189
319.2956	.5060	321.0862	.4694	321.2007	.2856	327.1786	.2365
319.2972	.5065	321.0877	.4570	321.2022	.3065	327.1801	.2328
319.2987	.5279	321.0892	.5205	321.2038	.2997	327.1817	.2458
320.1191	.4777	321.0907	.5428	321.2054	.2613	327.1833	.2550
320.1206	.4576	321.0922	.5438	321.2069	.3330	327.1849	.2675
320.1221	.5439	321.0937	.6014	321.2085	.3086	327.1864	.2452
320.1236	.5069	321.0982	.5447	321.2100	.2844	327.1880	.2696
320.1251	.5406	321.1013	.6087	321.2116	.3379	327.1896	.2832
320.1266	.5466	321.1028	.5805	321.2132	.3416	327.1912	.2992
320.1281	.5504	321.1058	.5848	321.2148	.3778	327.1928	.2880
320.1295	.5535	321.1089	.5647	321.2163	.3560	327.1943	.3054
320.1311	.5804	321.1121	.5725	321.2179	.3340	327.1959	.3077
320.1326	.5643	321.1136	.5887	321.2194	.3400	327.1976	.3371
320.1341	.5479	321.1151	.5285	321.2210	.3736	327.1992	.3518
320.1356	.5641	321.1167	.5495	321.2225	.3977	327.2009	.3845
320.1371	.5710	321.1183	.5100	321.2241	.4191	327.2025	.3875
320.1387	.5201	321.1198	.4537	321.2256	.4363	327.2041	.3786
320.1402	.5351	321.1213	.4776	321.2272	.4572	327.2057	.4496
320.1418	.5521	321.1229	.4448	321.2287	.4872	327.2073	.4005
320.1433	.5257	321.1260	.4473	321.2303	.4656	327.2090	.4193
320.1448	.4750	321.1275	.4755	321.2319	.4981	327.2106	.4262
320.1464	.4673	321.1290	.4190	321.2403	.4983	327.2122	.4293
320.1479	.4858	321.1306	.3799	321.2418	.5153	327.2138	.4327
320.1494	.4164	321.1322	.3866	321.2434	.5576	327.2154	.4667
320.1510	.3993	321.1337	.3446	321.2449	.5405	327.2170	.4754
320.1541	.4221	321.1353	.3905	321.2465	.5544	327.2186	.5036
320.1556	.4194	321.1369	.3747	321.2480	.5480	327.2202	.5050
320.1571	.3918	321.1385	.3499	321.2495	.5158	327.2218	.5193
320.1587	.3639	321.1400	.3577	326.0981	.4642	327.2234	.5585
320.1602	.3765	321.1432	.2844	326.0996	.4983	327.2250	.5221
320.1618	.3640	321.1448	.3163	326.1010	.5043	327.2265	.5064
320.1634	.3652	321.1464	.3283	326.1025	.5299	327.2281	.5240
320.1649	.3564	321.1495	.3139	326.1040	.5436	327.2297	.5376
320.1665	.3353	321.1511	.3151	326.1054	.5265	327.2313	.5451
320.1681	.3543	321.1527	.2826	326.1069	.5565	327.2329	.5418
320.1712	.3135	321.1542	.2568	326.1084	.5200	327.2345	.5752
320.1744	.3227	321.1558	.2730	326.1099	.5811	327.2361	.5525

표 2b. (계속)

JD_{\odot}		JD_{\odot}		JD_{\odot}	
2451000+	ΔV	2451000+	ΔV	2451000+	ΔV
327.2393	.4611	327.2570	.3160	327.2734	.2695
327.2425	.4294	327.2586	.3111	327.2749	.2190
327.2441	.4286	327.2602	.2839	327.2766	.2205
327.2457	.4074	327.2619	.3158	327.2783	.2222
327.2473	.4060	327.2635	.2475	327.2815	.2116
327.2489	.3954	327.2651	.3096	327.2832	.2027
327.2506	.3645	327.2668	.2581	327.2848	.2164
327.2522	.3326	327.2685	.3000	327.2865	.1912
327.2538	.3244	327.2701	.2938	327.2881	.2071
327.2554	.3384	327.2718	.2407		

3. 광도곡선 분석

광도곡선을 WD 프로그램으로 분석하기 위해서는 규격화된 관측자료와 각 인수의 초기값, 사용할 모드, 수정인수의 결정 등이 필요하다. 먼저 규격화된 자료를 만들기 위하여 표 2에 정리된 각 관측점들의 HJD값을 위상 값으로 바꾸고 (식 1의 방정식으로), 등급 값을 광도 값으로 바꾸어, 그 위상 값이 0.0에서 1.0까지 0.01 간격으로 해당 구간에 속하는 점들의 위상 값과 밝기 값을 평균하므로 규격화 (normalization) 했는데 그 결과를 표 3에 정리하였다. 그림 2에서 열린 원과 닫힌 원으로 표시한 것들이 표 2에 정리된 자료들이다.

VW Cep는 van't Veer (1973)와 Walter (1979) 등에 의해 접촉형 쌍성으로 알려져 있다. 그래서 우리의 광도곡선을 WD의 모드 3로 분석하기로 했다. 또한 i, T_2, Ω_1, q, L_1 , 등의 요소들을 수정인자로 사용하였으며, 나머지 요소는 모두 고정인자로 사용하였다. 이 계의 T_1, a, V_r , 등의 초기 입력 값으로는 Kaszas et al. (1998)의 것을, A 값은 Hendry et al. (1992)의 반사도를, X_1 는 van Hamme (1993)가 제시한 값을 사용하였다.

VW Cep는 광도변화가 심하고 광도곡선이 비대칭이므로 초기 값들 중에서 광도 (L)가 가장 부정확하다. 따라서, 이번 계산에서는 우선적으로 광도만을 조정인자로 하여 광도의 근사값을 얻은 뒤 포텐셜, 궤도경사각, 반성 온도의 순서로 광도곡선 해의 근사값을 구하였다. 그 후에는 $i, g_1, T_2, \Omega_1, q, L_1$ 등을 동시에 모두 조정인자로 하여 반복 계산함으로써 광도곡선의 해에 접근하였다. 그러나 우리의 광도곡선을 분석함에 있어서 Kaszas et al. (1998)가 제시한 바와 같이 이 쌍성계를 W형 (hot component가 small, low massive인 경우) 으로 가정하고 WD 프로그램에서 실행한 결과 만족할 만한 해를 얻지 못하였다. 더욱이 Kaszas et al. (1998)의 시선속도곡선의 자료는 우리의 광도곡선 해로 얻은 이론적인 시선속도곡선과 위상이 0.5 만큼 이동해야 함을 알 수 있었다. VW Cep의 광도곡선은 주극심과 부극심의 깊이와 형태가 흡사하여 그 구분이 혼돈되기 쉽다. 그렇기 때문에 과거의 연구에서 W형으로 했던 것과 달리 우리의 결과는 A형 (hot component가 large, more massive 인 경우) 인 것으로 나타났다.

우리가 관측한 광도곡선을 분석한 해를 표 4의 2번째 칼럼에 정리하였다. 여기서 표 4에 제시한 값은 흑점모델의 인자를 사용하지 않은 경우의 값이다. 이 표에 같이 정리된 과거의 다른 연구자료에서도 일부 요소들만이 발표된 것을 볼 수 있었다. Leung (1988)은 q 값이 아주 정확하게 알려진 몇몇 접촉쌍성계의 질량과 반경의 값을 질량-반경 평면에 plot해 봄으로써 W형과 A형이 뚜렷이 구별됨을 보여주고 있다. 우리의 결과를 여기에 비추어 보아도 분명히 A형이라는 것을 확인할 수 있다.

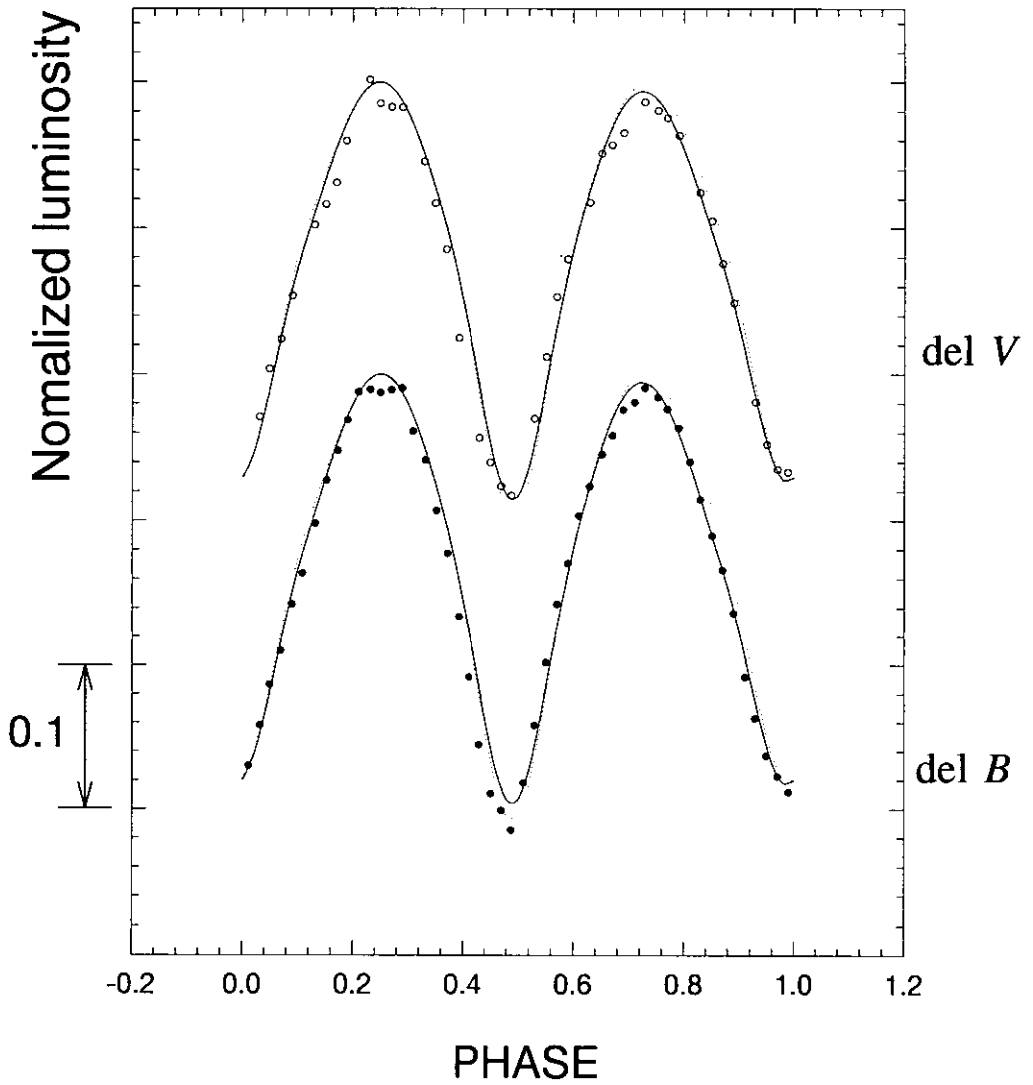


그림 2. 1999년 VW Cep의 BV 광도곡선 (그림에서 실선은 흑점인자를 사용하여 구한 이론적인 광도곡선이고, 점선은 흑점인자를 사용하지 않은 광도곡선이다. 각각의 열린원과 닫힌원은 우리의 규격화된 VW Cep의 관측 점이다).

표 3. VW Cep의 규격화 된 대표점(normal points).

phase	l_B	Wt	phase	l_V	Wt	phase	l_B	Wt	phase	l_V	Wt
.0110	.7228	8	.0093	.7391	12	.5103	.7111	9	.5104	.7259	8
.0319	.7507	8	.0305	.7708	12	.5298	.7506	10	.5299	.7696	11
.0490	.7787	7	.0486	.8037	10	.5505	.7939	15	.5509	.8118	14
.0691	.8018	8	.0699	.8240	12	.5705	.8344	13	.5700	.8530	13
.0895	.8340	8	.0902	.8536	11	.5898	.8621	15	.5895	.8788	15
.1087	.8550	5	.1083	.8750	8	.6095	.8945	11	.6088	.9099	11
.1316	.8891	8	.1308	.9020	9	.6291	.9143	9	.6294	.9175	10
.1519	.9184	8	.1512	.9162	10	.6513	.9360	10	.6506	.9511	8
.1718	.9384	8	.1698	.9311	11	.6703	.9487	10	.6696	.9569	12
.1900	.9590	6	.1879	.9597	10	.6894	.9659	12	.6906	.9653	12
.2101	.9779	8	.2102	.9882	13	.7105	.9711	11	.7107	.9825	10
.2310	.9797	8	.2302	.0015	9	.7287	.9808	7	.7287	.9864	8
.2493	.9775	6	.2495	.9854	9	.7525	.9745	8	.7527	.9804	7
.2695	.9793	4	.2701	.9829	6	.7694	.9663	9	.7695	.9755	10
.2888	.9806	3	.2900	.9828	3	.7898	.9537	12	.7910	.9634	12
.3085	.9515	4	.3096	.9616	4	.8106	.9309	14	.8103	.9421	12
.3311	.9321	4	.3294	.9456	3	.8288	.9053	12	.8286	.9243	14
.3511	.8978	3	.3493	.9171	4	.8508	.8808	12	.8501	.9049	10
.3712	.8687	4	.3694	.8855	3	.8699	.8574	13	.8697	.8758	15
.3926	.8257	6	.3920	.8248	7	.8899	.8282	14	.8903	.8489	13
.4104	.7839	7	.4117	.8011	7	.9108	.7840	13	.9096	.8118	12
.4295	.7373	12	.4298	.7565	11	.9290	.7553	13	.9293	.7809	16
.4511	.7039	8	.4497	.7398	8	.9492	.7299	12	.9500	.7521	16
.4701	.6922	10	.4693	.7236	10	.9702	.7156	14	.9699	.7352	16
.4878	.6786	6	.4878	.7170	7	.9897	.7050	11	.9885	.7333	15

우리의 해로 만든 이론적인 광도곡선을 그림 2에 실선으로 또는 점선으로 표시 하였다. 여기서 점선으로 표시된 광도곡선은 흑점의 인자를 전혀 사용하지 않은 경우이다. 점선으로 표시한 것은 흑점인자를 고려한 것으로 우리가 구한 값이 $\phi = 180, \lambda = 76, r = 12, T_s = 0.9$ 인 경우이다. 흑점의 위도 ϕ 는 별의 북극을 기준으로 남극까지 0° 에서 180° 까지 나뉘며, 경도 λ 는 두 별이 마주보는 점을 기준으로 0° 에서 360° 까지 나뉜다. 각반경 r 은 별의 중심에서부터 별의 표면에 이르는 각을 말한다. 온도요소 T_s 는 별 표면의 온도에 대한 흑점의 온도의 비율을 말한다. 우리의 광도곡선을 흑점을 적용해 분석하는데 있어 Kaszas et al. (1998)의 1995년도의 흑점요소를 초기인자로 사용하여 계산하였다.

그림 2를 보면 흑점인자를 사용한 광도곡선이 흑점인자를 사용하지 않은 광도곡선보다 관측 값(열린 원과 닫힌 원)에 더욱 잘 맞는 것을 볼 수 있었다. 그러나 주극심의 깊이와 각 극대의 모습이 조금씩 어긋나 있는 이유는 분산이 심한 우리의 광도곡선의 대표점에 비교한 점과 또 다른 흑점의 영

표 4. 우리가 구한 광도곡선 해와 과거 광도곡선 해의 비교.

Parameter	This paper (2000)	Kaszas et al. (1998)	Hendry & Mochnicki (1992)	Hill (1989)	Rucinski (1993)	Barden (1985)
q	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.41	0.27 ± 0.09	0.3	-
Ω_1	2.51 ± 0.02	-	-	-	-	-
Ω_2	2.51 ± 0.02	-	-	-	-	-
i	66.9	65.5	67	-	-	67
T_1	5050 K	5050 K	5250 K	4960 K	-	-
T_2	4780 ± 11 K	-	5223 K	5200 K	-	-
$L_1/(L_1 + L_2)B$	0.783 ± 0.07	-	-	-	-	-
$L_1/(L_1 + L_2)V$	0.778 ± 0.07	-	-	-	-	-
$x_1, y_1(B)$	0.822, 0.000	-	-	-	-	-
$x_1, y_1(V)$	0.684, 0.000	-	-	-	-	-
$x_2, y_2(B)$	0.822, 0.000	-	-	-	-	-
$x_2, y_2(V)$	0.684, 0.000	-	-	-	-	-
A_1	0.5	-	0.5	-	-	-
A_2	0.5	-	0.5	-	-	-
g_1	0.0	-	0.08	-	-	-
g_2	0.0	-	0.08	-	-	-
r_1 pole	0.456 ± 0.003	-	-	-	-	-
point	-	-	-	-	-	-
side	0.491 ± 0.005	-	-	-	-	-
back	0.520 ± 0.006	-	-	-	-	-
r_2 pole	0.282 ± 0.007	-	-	-	-	-
point	-	-	-	-	-	-
side	0.295 ± 0.008	-	-	-	-	-
back	0.337 ± 0.016	-	-	-	-	-
M_1/M_\odot	0.95	-	-	0.89	0.8	0.79
M_2/M_\odot	0.33	-	-	0.25	-	0.24
R_1/M_\odot	1.02	-	-	0.93	-	1.00
R_2/M_\odot	0.66	-	-	0.50	-	0.66

항 등으로 볼 수 있다.

우리의 광도곡선 해와 Kaszas et al. (1998)의 시선속도곡선의 해로부터 구한 VW Cep 계의 질 대량 $M_1 = 0.95 M_\odot$, $M_2 = 0.33 M_\odot$, $R_1 = 1.02 R_\odot$, $R_2 = 0.66 R_\odot$ 를 구했고, 이를 표 4의 아래 부분에 수록하였다.

감사의 글: 본 연구는 한국학술진흥재단의 과제번호 1998-015-D00286 지원으로 수행된 "집족쌍성 BV Dra, BW Dra, VW Cep, BX Peg의 관측과 분석"의 일부입니다. 연구 지원에 대해 감사드립니다.

참고문헌

- 박남규 1993, 서울대학교 박사학위 논문
 이재우 1997, 개인서신
 임조령 1991, 충북대학교 학사학위논문
 Abbott, B. P., & Rumignani, D. J. 1994, IBVS 4041
 Barden, S. C. 1985, ApJ 296, 162
 Binnendijk, L. 1967, Publ. Dom. Astrophys. Obs. 13, 27
 Bradstreet, D. H., & Guinan E. F. 1988, in: "A Decade of UV Astronomy with IUE", ESA SP-281, 1, 303
 Guinan, E. F. 1980, IBVS 1850
 Guinan, E. F., & Gimenez, A. 1993, in The Realm of Interactive Binary Stars, eds. J. Sahade et al. (Kluwer: Dordrecht), 51
 Guinan, E. F., Najafi, S. I., & Zamain-Noor, F. 1980, IBVS 1850
 Hendry, P. D. 1997, PhD Thesis, University of Toronto
 Hendry, P. D., & Mochnacki, S. W. 1992, ApJ, 388, 603
 Hendry, P. D., Mochnacki, S. W., & Collier Cameron, A. 1992, ApJ, 399, 246
 Hill, G. 1989, A&A, 218, 141
 Hopp, U., Witzigmann, S., & Kiehl, M. 1979, IBVS 1599
 Jay, J. E., & Guinan, E. F. 1997, IBVS 4511
 Karimie, M. T. 1983, Ap&SS, 92, 53
 Kaszas, G., Vinko, J., Szatmary, K., Hegedus, T., Gal, J., Kiss, L.L., & Borkovits, T. 1998, A&A, 331, 231
 Kwee, K. K. 1966a, BAIN Suppl., 1, 265
 Kwee, K. K. 1966b, BAIN, 18, 448
 Leung, K. C. 1988, Critical Observations Versus Physical Models for Close Binary Systems, ed. K. C. Leung, (London: Gordon and Breach Science Publishers Inc.), 101
 Linnell, A. P. 1986, ApJ, 300, 304
 Linnell, A. P. 1991, ApJ, 383, 330
 Popper, D. M. 1948, ApJ, 108, 490
 Pustynnik, I., & Sorgsepp, L. 1976, Acta Astron., 26, 319
 Rucinski, S. M. 1993, in: "The Realm of Interacting Binaries" ed. J. Sahade et al. (Dordrecht: Kluwer), 111
 Schilt, J. 1926, ApJ, 64, 221
 Stepien, K. 1995, MNRAS, 274, 1019
 Tsuru, T., Makishima, K., Ohashi, T., Sakao, T., Pye, J. P., Williams, O. R., Barstow, M. A., & Takano, S. 1992, MNRAS, 255, 192
 van Hamme, W. 1993, AJ, 106, 2096

van't Veer, F. 1973, *A&A*, 26, 357

Vilhu, O., Caillault, J. P., & Heise, J. 1988, *ApJ*, 330, 922

Vilhu, O., & Walter, F. M. 1987, *ApJ*, 321, 958

Vinko, J., Gal, J., Szatmary, K., & Kiss, L. L. 1993, *IBVS* 3965

Walter, K. 1979, *A&A*, 80, 27

Yamasaki, A. 1982, *Ap. Space Sci.*, 85, 43