

## 접촉쌍성 V523 Cas의 측광학적 관측과 분석<sup>†</sup>

정장해<sup>‡</sup>, 김천휘, 이용삼  
충북대학교 천문우주학과

### PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF THE CONTACT BINARY SYSTEM V523 CASSIOPEIAE<sup>†</sup>

Jang Hae Jeong<sup>†</sup>, Chun-Hwey Kim, and Yong-Sam Lee  
Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University  
E-mail: jeongjh@chungbuk.ac.kr

(Received May 8, 2006; Accepted May 27, 2006)

#### 요 약

소백산 천문대의 61cm 망원경과 2K CCD 카메라로 2003년 1월 6일부터 24일까지 5일간 W UMa형 접촉쌍성 V523 Cas를 측광관측하여 총 920개의 관측점( $\Delta B$ : 230점,  $\Delta V$ : 230점,  $\Delta R$ : 230점,  $\Delta I$ : 230점)을 얻었다. 우리의 관측점으로부터 9개의 새로운 극심시각(주극심: 5개, 부극심: 4개)을 산출하였다. 2004년도 Wilson-Devinney(WD) 쌍성 모형으로 우리가 얻은 새로운 *BVRI* 광도곡선과 Rucinski et al.(2003)의 시선속도 곡선을 결합하여 분석함으로써 V523 Cas의 제 물리요소를 새롭게 산출하였다. 광도곡선에 나타난 작은 비대칭을 온도가 높은 주성의 광구 표면에 차거운 흑점과 반성에 뜨거운 흑점을 가정하여 설명하였다.

#### ABSTRACT

A total of 920 observations (230 in  $\Delta B$ , 230 in  $\Delta V$ , 230 in  $\Delta R$ , 230 in  $\Delta I$ ) for V523 Cas were made on 5 nights from January 6 to 24 in 2003 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 the Rucinski et al.'s (2003) were made with the 2004 Wilson-Devinney (WD) binary model to yield new physical parameters of the V523 system. Small asymmetries in light curves were explained with the adoption of a cool spot on the hot primary and a hot spot on the cool secondary.

*Keywords:* V523 Cas, *BVRI* CCD observations, Times of minimum light, WD solution

#### 1. 서 론

V523 Cas(CSV 5867, Wr16, GCS 03257:00167)는 분광형이 K4V이고, 주기가 5.6시간( $P = 0.^d2337$ ) 정도 밖에 안되는 축퇴되지않은 W UMa형 접촉 식쌍성이다. 이 쌍성은 두 성분 별 중

<sup>†</sup>본연구는 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

<sup>‡</sup>corresponding author

에 질량이 큰 별의 온도가 더 낮은 형태인 W형이다 (EW/W). Weber(1957)가 처음으로 V523 Cas의 변광을 발견하였고, Haussler(1974), Lavrov & Zhukov(1975), Hoffmann(1981) 등은 V523 Cas의 측광관측을 수행하고 극심시각을 발표하였다.

Bradstreet(1981)은 광전측광관측을 수행하여 광도곡선을 완성한 후 그것을 WD 방법과 Binnendijk 방법으로 광도곡선을 분석하여, 광도곡선은 완벽한 대칭이 아니며, W형이라고 하였고, 질량비를  $q=1.67$ 로 결정하였다. Samec et al.(1989)은  $q$ 를 0.571로, Lister et al.(2000)은 0.53, 김진희와 정장해(2002)는 0.56, Samec et al.(2004)은 0.52 등 각각 다른 질량비를 결정한 바 있다.

Rucinski et al.(2003)은 DDO에서 관측한 고정밀도 시선속도 곡선을 분석하여 질량비가  $q=0.512$ 라고 발표하였다. 이것은  $q=0.42$ 라고 발표한 Milone et al.(1985)의 것에 비하여 관측정밀도와 분석면에서 크게 향상된 연구 결과로 평가되고 있다(Samec et al. 2004). 그동안 시선속도 곡선의 분석으로 얻은 질량비  $q_{sp}$ 와 광도곡선의 분석으로 얻은 질량비  $q_{ph}$  간에 큰 차이 때문에 여러차례 논의되었다(Samec et al. 1989, 김진희와 정장해 2002).

이 연구에서, 우리는 V523 Cas의 CCD 측광관측을 수행하여 BVRI 광도곡선을 완성하고, WD 방법으로 우리의 4개 광도곡선과 Rucinski et al.(2003)의 2개 시선속도곡선을 동시에 만족시키는 해를 구하려고 한다. 광도곡선 상에 나타난 역 O'Connell 효과의 원인을 뜨거운 흑점과 차거운 흑점을 도입하여 설명하려고 한다. 김진희와 정장해(2002), Samec et al.(2004) 등의 연구를 포함하여 여러 발표에서 V523 Cas에 대한 WD 분석은 질량이 크고 온도가 낮은 별을 star 1으로, 즉 질량비  $q = m_2/m_1 < 1$ 으로 놓고 수행 하였다. 이렇게 할 경우, 기존에 출판된 수표에서 쉽게  $q$ 에 해당하는  $\Omega$  값을 얻을 수 있다. 반면에 부식을 주식처럼 가정하여 계산하고, 모든 관측점의 위상을 0.5만큼 뺀 뒤 시켜야 하는 번거로움이 있다. 우리는 이러한 불편을 없애기 위해,  $q$ 가 1 보다 큰 경우도  $\Omega$ 를 쉽게 계산할 수 있는 프로그램을 만들어, 질량은 작으나 온도가 높은 별을 star 1으로, 즉 질량비  $q = m_2/m_1 > 1$ 로 하여 WD를 실행하려고 한다.

## 2. 관측과 광도곡선

우리는 2003년 1월 6-24일 기간 중 5일간 소백산 천문대의 61cm 망원경과 2K CCD 카메라를 이용하여 W UMa형 접촉쌍성 V523 Cas를 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 값과 비슷하고 위치적으로 연구성 가까이에 있다. 그림 1에 보인 finding chart에서 V로 표시한 것은 표 1에 정리한 연구성 V523 Cas이고, C와 Ch로 표시한 것은 각각 비교성과 검토성이다.

우리가 얻은 모든 CCD 영상들을 IRAF 패키지를 이용하여 처리하여, 비교성에 대한 연구성과 검토성의 각각의 등급차  $\Delta m(m_* - m_{comp})$ 을 산출한 결과, 총 920 개의 관측점( $\Delta B$ : 230점,  $\Delta V$ : 230점,  $\Delta R$ : 230점,  $\Delta I$ : 230점)을 얻었다. 이를 표 2에 수록하였다. 우리가 얻은 이 관측점들을 가지고 그림 2와 같은 광도곡선을 만들었다. 날짜별로 그린 각각의 그림에서 상단의 4개의 광도곡선은 연구성의 필터별 광도곡선이고, 아래 4개는 검토성의 광도곡선으로, 관측일 별로 5개(그림 2a~e)로 구분하였고, 마지막 그림 2f는 5일간의 관측점을 모두 그린 것이다. 그림 2a,b,c의 광도곡선들은 관측 지속 시간이 6시간 정도로 이들은 전 구간의 위상을, 그림 2d,e는 반 정도의 위상을 관측한 것을 보여

표 1. V523 Cas, 비교성, 검토성의 좌표와 GSC No.

Star	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	GSC No.	$m_v$
V523 Cas	00 40 06.246	50 14 15.503	03257:00167	10.8
비교성	00 40 03.3	50 11 19	03257:00011	12.6
검토성	00 40 28.0	50 15 57	03257:00221	12.5

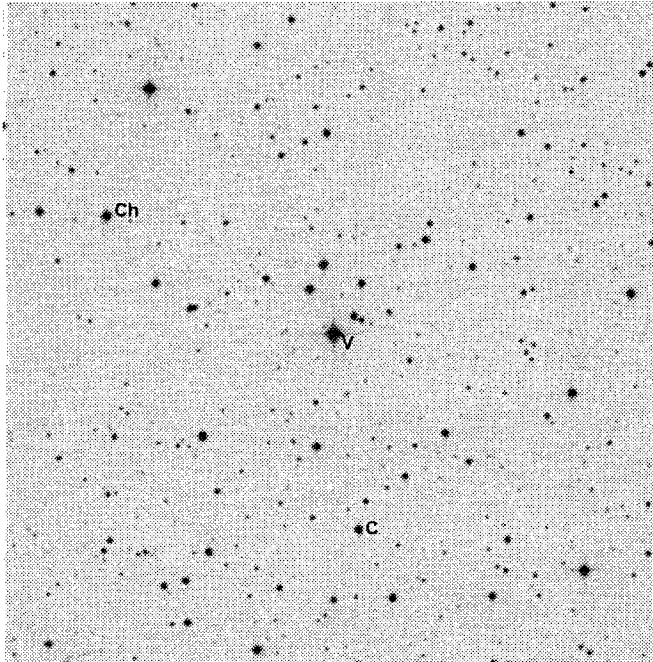


그림 1. V523 Cas의 finding chart. V: V523 Cas, C: 비교성, Ch: 검토성.

주고 있다. 그림 2에 보인 검토성의 필터별 광도곡선들로부터 관측점들의 평균값과 확률오차를 계산하여 날짜별로 표 3에 수록하였다. 표 3에서 보듯이 우리 관측의 필터별 확률오차는 평균하여 약  $0.^m01$ 이다. 우리가 얻은 총 920개의 관측점으로 부터 9개의 극심시각(제1 극심시각: 5개, 제2 극심시각: 4개)을 김천휘(1989)가 coding한 Kwee & van Woerden(1956)의 방법을 사용하여 표 4에 수록한 바와 같이 결정하였다. 그림 2f는 5일간의 관측점을 모두 그린 광도곡선이다. 여기서 위상은

$$Min I = JD_{\odot} 2452647.1305 + 0.^d23369722E \quad (1)$$

의 광도요소로 계산하였는데, 이는 우리가 얻은 극심시각들(표 4 참조)을 이용하여 결정한 것이다.

그림 2f에서  $B, V, R, I$  광도곡선 모두, 위상 0.75 부근이 위상 0.25 부근보다  $0.^m02 \sim 0.^m03$  더 밝고, 주극심의 깊이는  $B, V, R, I$  곡선 각각에서 약  $1.^m02, 0.^m97, 0.^m90, 0.^m86$ 이며, 부극심의 깊이는 각각  $0.^m76, 0.^m74, 0.^m68, 0.^m66$ 이다.

표 2. V523 Cas의 BVRI 관측점.

$JD_{\odot}$					$JD_{\odot}$				
2452600+	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$	2452600+	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$
45.9016	-1.777	-2.090	-2.359	-2.563	46.9982	-1.422	-1.758	-2.073	-2.289
45.9122	-1.769	-2.068	-2.359	-2.563	47.0022	-1.321	-1.671	-1.967	-2.187
45.9175	-1.740	-2.037	-2.339	-2.542	47.0065	-1.182	-1.521	-1.855	-2.054
45.9235	-1.695	-2.003	-2.292	-2.506	47.0105	-1.086	-1.431	-1.752	-1.964
45.9288	-1.630	-1.968	-2.255	-2.464	47.0145	-1.065	-1.400	-1.730	-1.946
45.9351	-1.555	-1.879	-2.182	-2.401	47.0185	-1.121	-1.469	-1.794	-2.018
45.9404	-1.449	-1.789	-2.094	-2.310	47.0225	-1.220	-1.562	-1.895	-2.108
45.9456	-1.316	-1.642	-1.960	-2.189	47.0267	-1.347	-1.714	-2.009	-2.229
45.9674	-0.835	-1.189	-1.607	-1.907	47.0307	-1.449	-1.797	-2.106	-2.322
45.9719	-1.000	-1.367	-1.709	-1.956	47.0359	-1.534	-1.847	-2.186	-2.378
45.9765	-1.197	-1.555	-1.878	-2.110	47.0405	-1.605	-1.929	-2.245	-2.431
45.9811	-1.350	-1.701	-2.007	-2.253	47.0442	-1.642	-1.958	-2.282	-2.468
45.9856	-1.459	-1.806	-2.126	-2.351	47.0479	-1.674	-2.002	-2.318	-2.505
45.9901	-1.554	-1.902	-2.191	-2.421	47.0516	-1.709	-2.029	-2.319	-2.531
45.9945	-1.619	-1.939	-2.255	-2.460	47.0555	-1.747	-2.089	-2.364	-2.534
45.9990	-1.667	-2.001	-2.299	-2.499	47.0592	-1.776	-2.088	-2.380	-2.566
46.0036	-1.706	-2.040	-2.345	-2.531	47.0631	-1.797	-2.108	-2.389	-2.602
46.0081	-1.745	-2.073	-2.377	-2.538	47.0668	-1.814	-2.135	-2.414	-2.621
46.0126	-1.768	-2.104	-2.392	-2.565	47.0705	-1.820	-2.143	-2.428	-2.634
46.0171	-1.780	-2.119	-2.426	-2.591	47.0742	-1.814	-2.121	-2.435	-2.624
46.0216	-1.789	-2.134	-2.424	-2.597	47.0779	-1.796	-2.125	-2.423	-2.599
46.0261	-1.797	-2.114	-2.410	-2.583	47.0816	-1.786	-2.100	-2.388	-2.587
46.0306	-1.788	-2.115	-2.404	-2.585	47.0854	-1.763	-2.063	-2.393	-2.561
46.0352	-1.763	-2.094	-2.388	-2.571	47.0895	-1.738	-2.047	-2.392	-2.552
46.0398	-1.742	-2.077	-2.372	-2.545	47.0932	-1.711	-2.021	-2.332	-2.546
46.0443	-1.705	-2.039	-2.340	-2.524	47.0972	-1.665	-1.964	-2.267	-2.492
46.0490	-1.663	-1.978	-2.307	-2.477	47.1009	-1.612	-1.916	-2.239	-2.450
46.0535	-1.609	-1.952	-2.253	-2.433	47.1046	-1.536	-1.836	-2.198	-2.401
46.0580	-1.535	-1.878	-2.189	-2.376	47.1084	-1.459	-1.803	-2.126	-2.337
46.0626	-1.443	-1.768	-2.086	-2.266	47.1121	-1.358	-1.698	-2.030	-2.248
46.0671	-1.318	-1.653	-1.974	-2.152	47.1160	-1.217	-1.535	-1.913	-2.129
46.0717	-1.185	-1.536	-1.853	-2.028	47.1199	-1.059	-1.411	-1.730	-1.991
46.0764	-1.084	-1.425	-1.749	-1.959	47.1236	-0.907	-1.233	-1.600	-1.864
46.0810	-1.078	-1.407	-1.749	-1.946	47.1275	-0.797	-1.121	-1.527	-1.787
46.0855	-1.164	-1.494	-1.830	-2.027	47.1313	-0.782	-1.123	-1.498	-1.773
46.0900	-1.288	-1.641	-1.950	-2.143	47.1352	-0.845	-1.159	-1.558	-1.815
46.0946	-1.400	-1.740	-2.066	-2.251	47.1389	-0.956	-1.297	-1.665	-1.917
46.0992	-1.504	-1.843	-2.158	-2.347	47.1426	-1.069	-1.428	-1.793	-2.039
46.1037	-1.578	-1.916	-2.221	-2.406	47.1466	-1.175	-1.565	-1.915	-2.165
46.1084	-1.634	-1.973	-2.296	-2.459	47.1503	-1.275	-1.698	-2.036	-2.288
46.1131	-1.680	-2.006	-2.319	-2.516	47.1539	-1.371	-1.818	-2.157	-2.409
46.1175	-1.736	-2.058	-2.341	-2.535	47.1575	-1.458	-1.928	-2.270	-2.527
46.1220	-1.759	-2.068	-2.371	-2.554	47.1611	-1.532	-2.025	-2.375	-2.641
46.1266	-1.795	-2.122	-2.403	-2.585	47.1646	-1.596	-2.110	-2.471	-2.749
46.1311	-1.813	-2.123	-2.406	-2.585	47.1681	-1.654	-2.188	-2.561	-2.852
46.1357	-1.830	-2.121	-2.415	-2.590	47.1716	-1.705	-2.257	-2.646	-2.951
46.1405	-1.819	-2.124	-2.403	-2.591	47.1751	-1.748	-2.317	-2.726	-3.041
46.1451	-1.802	-2.108	-2.377	-2.586	47.1786	-1.783	-2.368	-2.801	-3.122
46.8958	-0.773	-1.141	-1.490	-1.764	47.1821	-1.809	-2.409	-2.871	-3.195
46.9010	-0.815	-1.169	-1.535	-1.803	47.1856	-1.825	-2.449	-2.937	-3.261
46.9087	-1.083	-1.449	-1.770	-2.023	47.1891	-1.832	-2.467	-2.993	-3.319
46.9132	-1.251	-1.619	-1.941	-2.170	47.1926	-1.829	-2.474	-3.040	-3.369
46.9177	-1.401	-1.748	-2.064	-2.289	47.1961	-1.815	-2.479	-3.087	-3.416
46.9224	-1.510	-1.849	-2.169	-2.370	47.1996	-1.790	-2.472	-3.129	-3.462
46.9269	-1.578	-1.911	-2.234	-2.431	47.2031	-1.754	-2.454	-3.167	-3.506
46.9314	-1.640	-1.971	-2.279	-2.469	47.2066	-1.707	-2.425	-3.199	-3.548
46.9360	-1.686	-2.024	-2.327	-2.515	47.2101	-1.650	-2.385	-3.225	-3.588
46.9405	-1.721	-2.052	-2.356	-2.549	47.2136	-1.583	-2.334	-3.246	-3.625
46.9450	-1.757	-2.087	-2.383	-2.574	47.2171	-1.506	-2.272	-3.262	-3.659
46.9495	-1.780	-2.110	-2.397	-2.590	47.2206	-1.419	-2.198	-3.273	-3.689
46.9540	-1.786	-2.127	-2.415	-2.594	47.2241	-1.323	-2.113	-3.280	-3.715
46.9585	-1.789	-2.119	-2.419	-2.594	47.2276	-1.218	-2.018	-3.283	-3.737
46.9631	-1.792	-2.117	-2.409	-2.600	47.2311	-1.105	-1.913	-3.282	-3.755
46.9675	-1.768	-2.112	-2.411	-2.588	47.2346	-0.984	-1.798	-3.278	-3.769
46.9724	-1.745	-2.085	-2.380	-2.553	47.2381	-0.855	-1.673	-3.270	-3.779
46.9776	-1.710	-2.041	-2.357	-2.540	47.2416	-0.718	-1.538	-3.258	-3.785
46.9816	-1.690	-2.022	-2.322	-2.519	47.2451	-0.573	-1.393	-3.242	-3.788
46.9863	-1.639	-1.974	-2.262	-2.480	47.2486	-0.420	-1.238	-3.223	-3.779
46.9903	-1.580	-1.919	-2.217	-2.434	47.2521	-0.260	-1.073	-3.199	-3.759
46.9943	-1.509	-1.849	-2.164	-2.365	47.2556	-0.095	-0.900	-3.171	-3.728

표 2. (계속).

$JD_{\odot}$ 2452600+					$JD_{\odot}$ 2452600+				
$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$		$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$	
48.0335	-1.643	-1.953	-2.272	-2.479	60.9880	-1.767	-2.098	-2.401	-2.578
48.0375	-1.583	-1.907	-2.225	-2.429	60.9928	-1.746	-2.039	-2.380	-2.530
48.0415	-1.503	-1.850	-2.157	-2.368	60.9976	-1.706	-2.041	-2.358	-2.509
48.0454	-1.399	-1.741	-2.073	-2.282	61.0024	-1.677	-2.001	-2.320	-2.493
48.0493	-1.275	-1.620	-1.951	-2.172	61.0074	-1.628	-1.953	-2.247	-2.463
48.0534	-1.120	-1.466	-1.813	-2.057	61.0122	-1.562	-1.884	-2.201	-2.407
48.0573	-0.954	-1.288	-1.659	-1.933	61.0172	-1.477	-1.801	-2.112	-2.316
48.0614	-0.819	-1.160	-1.523	-1.816	61.0220	-1.365	-1.679	-2.011	-2.212
48.0653	-0.785	-1.123	-1.502	-1.774	61.0269	-1.222	-1.575	-1.876	-2.077
48.0693	-0.817	-1.177	-1.532	-1.824	61.0318	-1.100	-1.426	-1.765	-1.966
48.0734	-0.947	-1.312	-1.659	-1.934	61.0367	-1.048	-1.370	-1.688	-1.937
48.0773	-1.113	-1.452	-1.780	-2.063	63.9247	-1.616	-1.921	-2.228	-2.434
48.0812	-1.269	-1.619	-1.933	-2.185	63.9297	-1.541	-1.871	-2.179	-2.396
48.0853	-1.396	-1.732	-2.039	-2.288	63.9345	-1.442	-1.787	-2.100	-2.324
48.0893	-1.477	-1.810	-2.131	-2.378	63.9394	-1.317	-1.650	-1.975	-2.202
48.0934	-1.573	-1.889	-2.193	-2.424	63.9443	-1.127	-1.472	-1.819	-2.049
48.0974	-1.622	-1.942	-2.259	-2.469	63.9505	-0.881	-1.240	-1.587	-1.862
48.1013	-1.661	-1.980	-2.303	-2.506	63.9554	-0.787	-1.153	-1.512	-1.778
48.1052	-1.703	-2.052	-2.323	-2.514	63.9602	-0.813	-1.158	-1.523	-1.807
48.1092	-1.748	-2.069	-2.355	-2.554	63.9650	-0.962	-1.316	-1.670	-1.926
48.1133	-1.779	-2.084	-2.381	-2.581	63.9698	-1.159	-1.512	-1.840	-2.073
48.1174	-1.784	-2.091	-2.402	-2.591	63.9749	-1.345	-1.688	-1.993	-2.216
48.1213	-1.788	-2.117	-2.389	-2.576	63.9797	-1.463	-1.803	-2.108	-2.333
48.1255	-1.796	-2.122	-2.404	-2.572	63.9845	-1.554	-1.887	-2.184	-2.411
48.1294	-1.808	-2.128	-2.411	-2.598	63.9893	-1.617	-1.945	-2.248	-2.463
48.1333	-1.809	-2.104	-2.415	-2.615	63.9940	-1.666	-1.993	-2.289	-2.506
48.1376	-1.792	-2.092	-2.404	-2.607	63.9988	-1.716	-2.035	-2.333	-2.540
48.1415	-1.766	-2.073	-2.371	-2.567	64.0036	-1.754	-2.067	-2.376	-2.561
60.9053	-1.160	-1.485	-1.816	-2.075	64.0084	-1.778	-2.092	-2.392	-2.585
60.9094	-0.990	-1.328	-1.682	-1.958	64.0132	-1.795	-2.113	-2.414	-2.594
60.9136	-0.841	-1.181	-1.547	-1.844	64.0181	-1.802	-2.123	-2.424	-2.599
60.9196	-0.788	-1.148	-1.512	-1.784	64.0229	-1.790	-2.116	-2.415	-2.603
60.9251	-0.893	-1.237	-1.620	-1.873	64.0279	-1.766	-2.091	-2.386	-2.590
60.9299	-1.089	-1.436	-1.793	-2.031	64.0327	-1.735	-2.076	-2.365	-2.570
60.9348	-1.276	-1.614	-1.951	-2.188	64.0375	-1.708	-2.041	-2.341	-2.549
60.9396	-1.423	-1.749	-2.083	-2.309	64.0423	-1.673	-2.006	-2.311	-2.513
60.9444	-1.526	-1.854	-2.177	-2.394	64.0482	-1.617	-1.960	-2.254	-2.456
60.9492	-1.598	-1.920	-2.228	-2.441	64.0528	-1.541	-1.876	-2.181	-2.381
60.9540	-1.652	-1.963	-2.274	-2.496	64.0575	-1.438	-1.768	-2.087	-2.285
60.9588	-1.696	-2.026	-2.316	-2.533	64.0621	-1.317	-1.646	-1.964	-2.169
60.9636	-1.729	-2.053	-2.354	-2.553	64.0667	-1.182	-1.528	-1.839	-2.049
60.9686	-1.758	-2.078	-2.378	-2.579	64.0714	-1.084	-1.414	-1.750	-1.959
60.9734	-1.781	-2.097	-2.393	-2.590	64.0760	-1.085	-1.421	-1.754	-1.969
60.9783	-1.793	-2.094	-2.396	-2.595	64.0806	-1.195	-1.547	-1.848	-2.068
60.9831	-1.788	-2.095	-2.407	-2.605	64.0852	-1.292	-1.660	-1.963	-2.190

표 3. 검토성의 필터별 평균등급( $\bar{B}\bar{V}\bar{R}\bar{I}$ )과 확률오차(PE).

date	$\bar{B}$	$PE_B$	$\bar{V}$	$PE_V$	$\bar{R}$	$PE_R$	$\bar{I}$	$PE_I$
2003-01-06	0.381	0.011	-0.051	0.007	-0.325	0.007	-0.543	0.011
2003-01-07	0.395	0.007	-0.037	0.007	-0.315	0.010	-0.545	0.011
2003-01-08	0.387	0.010	-0.049	0.007	-0.328	0.009	-0.554	0.010
2003-01-21	0.381	0.015	-0.046	0.012	-0.329	0.012	-0.549	0.008
2003-01-24	0.388	0.010	-0.046	0.008	-0.322	0.006	-0.539	0.008

표 4. V523 Cas의 광도극심시각.

제1극심시각		제2극심시각	
$JD_{\odot}$ 2452600+	내부오차	$JD_{\odot}$ 2452600+	내부오차
45.9635	$\pm 0.009$	46.0792	$\pm 0.002$
47.1305	$\pm 0.002$	47.0140	$\pm 0.003$
48.0655	$\pm 0.001$	47.9488	$\pm 0.002$
60.9184	$\pm 0.002$	64.0735	$\pm 0.002$
63.9567	$\pm 0.001$		

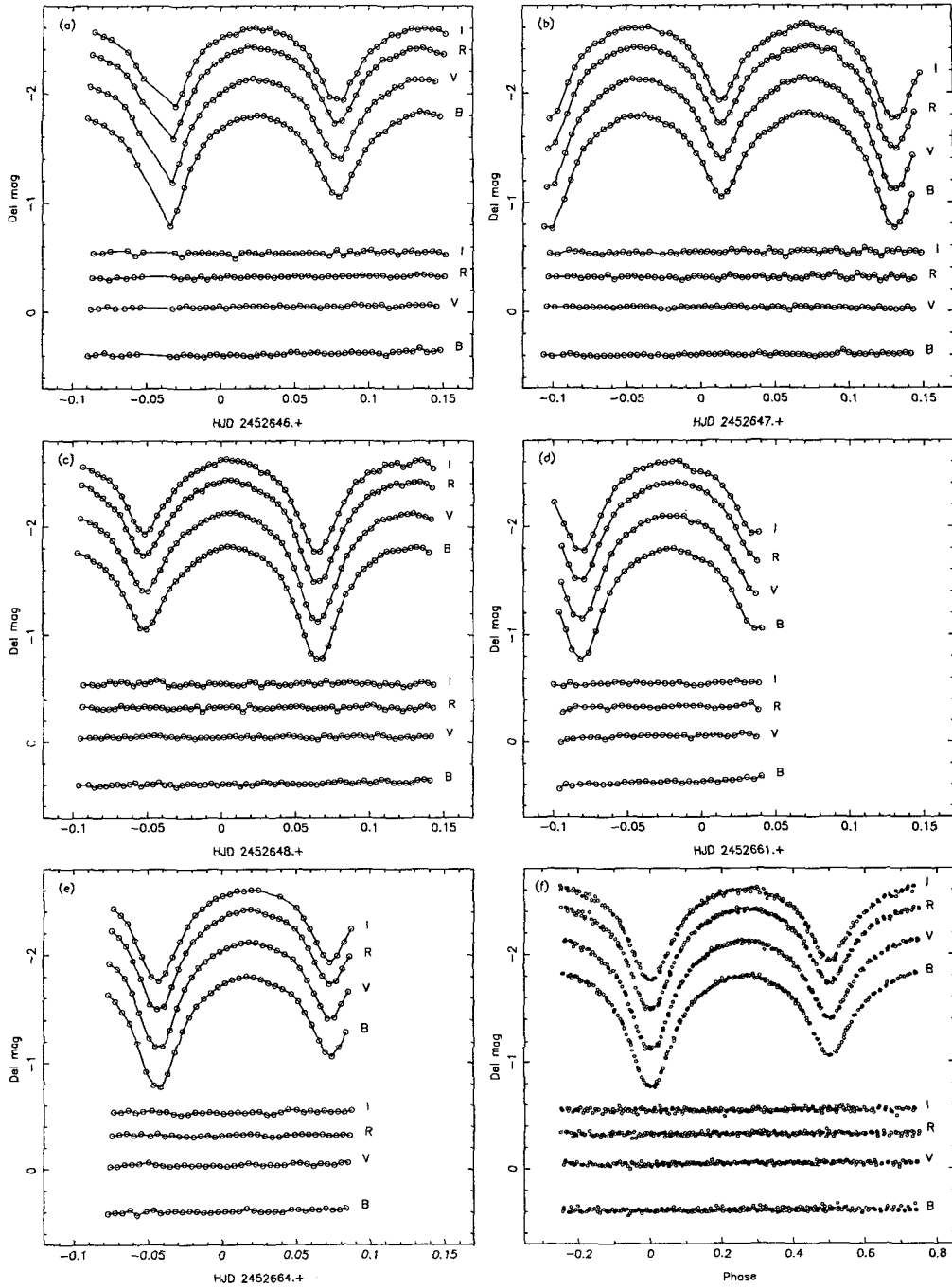


그림 2. 관측일 별로 본 V523 Cas와 검토성의 *BVRI* 광도곡선. (a) 2003-1-6, (b) 2003-1-7, (c) 2003-1-8, (d) 2003-1-21, (e) 2003-1-24, (f) 관측집 전체

### 3. 광도곡선의 분석

V523 Cas의 광도곡선을 분석하기 위해, 우리는 WD 프로그램을 사용하였다(Wilson & Devinney 1971, Wilson 1990, Kang & Wilson 1989, Wilson & van Hamme 2004). 이 프로그램의 입력에 필요한 측정값으로, 우리는 표 1에 수록한 관측점들을 가지고 필터별로 만든 100여개의 대표점들과, Rucinski et al.(2003)의 2중시선속도 관측점들 84개를 사용하였다. 쌍성의 성분별이 과접촉되어 있으면, 표면 포텐셜이 공통 포피이므로  $\Omega_2$ 는  $\Omega_1$ 과 같아야 하고, 인자  $L_2$ 는 흑체복사 이론, 즉 천체의 대기복사 이론의 공식에 들어 있는 인자들에 강하게 의존되는 값이다. 또 공동포피 전체에 걸쳐 표면밝기 변화가 두 별이 만나는 곳에서도 조차 불연속 점이 없고, 연속적이기 때문에  $g_2, T_2, A_2, x_2, y_2$ 는 각각  $g_1, T_1, A_1, x_1, y_1$ 과 같은 값을 갖게 된다. 이런 경우 WD를 실행시킬 때 모드 1를 사용한다. 그러나 V523 Cas의 경우는 기하학적 모양으로는 과접촉쌍성인데도 불구하고, 광도곡선에서는 주극심과 부극심의 깊이가 상당히 다르다. 이는 두 성분 별의 열적 접촉 상태가 심하지 않음을 암시한다. 따라서 우리는 모드 1보다는 모드 3을 사용하였다. 모드 3에서는  $g_2, T_2, A_2, x_2, y_2$ 와 같은 인자들이 자유롭게 조종될 수 있다. 쌍성의 이론적인 모형을 기술하는 각 인자들의 초기 값은 van Hamme(1993), 김진희와 정장해(2002), Rucinski et al.(2003), Samec et al.(2004) 등의 문헌에서 가져왔다. 그 외에  $x(R)$ 과  $x(I)$ 의 값으로는  $x(V)$  값을,  $y(R)$ 과  $y(I)$ 의 값으로는  $y(V)$  값을 사용하였다.  $q$  값으로는 Samec et al.(2004)의 값 0.52의 역수 1.923을 사용하였다. 이  $q$  값에 해당하는  $\Omega_{in}$  값 5.142와  $\Omega_{out}$  값 4.548을 계산하고 fill-out factor를 30%로 보고 계산한 4.964를  $\Omega$  값으로 사용하였다.

우리는 고정인자와 조종인자의 여러 셋트를 체계적으로 실행하여 4개의 광도곡선과 2개의 시선속도곡선을 동시에 만족시키는 최적의 해(해 1로 약함)를 얻어 표 5의 4째 칸에 수록하였다. 이에 의한 필터별 이론적인 광도곡선은 그림 3의 윗 부분에 실선으로 표시한 바와 같다. 여기서 열린 원은 관측치의 대표점들이다. 그림 3의 아래 부분에는 우리가 구한 이론적인 광도곡선이 관측치를 얼마나 잘 묘사하는 지 살펴 보기 위해서, 관측치에서 이론치를 뺀 값을 필터별로 표시했다. 그림 3에서 보듯이, 이론적인 광도곡선은 관측된 대표점들을 전체적으로 잘 맞추고 있으나(표 5의 마지막 줄에  $\Sigma w(O - C)^2$ 의 값이 0.039440 임), 자세히 살펴보면 관측값이 이론적인 광도곡선과 비교해서 위상 0.25 부근을 전후해서 다른 양상으로 변하는 것을 알 수 있는데, 즉 0.25 전에는 약간 어두웠으나 그 이후는 약간 밝아지고 있다. 이는, 앞절에서 기술하였듯이, 관측된 필터별 모든 광도곡선(그림 2f)에서 위상 0.25 부근이 0.75 부근 보다 더 어두운 관측 현상(일명 역 O'Connell 효과)과 연관되어 있다. 흥미롭게도, 이러한 역 O'Connell 효과는 1999년 10월에 김진희와 정장해(2002)가 관측한 V523 Cas의 광도곡선에서 보였던 O'Connell 효과(0.25 부근이 0.75 부근이 더 밝은 현상)와는 반대이다. 이는 V523 Cas에서 O'Connell 효과가 시간에 따라 변한다는 것을 보여주는 증거이다. 상당히 많은 접촉쌍성에서 이 현상이 보고되고 있으며, 많은 학자들은 변하는 O'Connell 효과를 항성 흑점으로 설명하고 있다(e.g., Kang et al. 2002, Kim et al. 2003).

이 연구에서 관측된 역 O'Connell 효과를 우리는 2개의 흑점 때문인 것으로 가정하고, 광도곡선과 시선속도곡선을 재분석 하였다. 우리가 2개의 흑점 모형을 선택한 것은, 위에서 기술한, 위상이 0.25 전후로 하여 관측된 광도가 이론적인 광도와 비교하여 0.25 전에는 어두웠으나, 그 이후는 밝아지는 현상에 기초하고 있다. 이 현상은 한개의 흑점으로는 설명될 수 없기 때문이다. 따라서, 위상 0.25 이전 부근이 더 어두운 원인을 뜨거운 주성 표면의 위도  $90^\circ$ , 경도  $280^\circ$ 에, 각반경  $10^\circ$ , 온도인수

표 5. V523 Cas 광도곡선의 해.

Parameter	Samec et al.(2004)*	(해 1)this paper without spot	(해 2)this paper with spots
$\alpha(R_{\odot})$	$1.687 \pm 0.012$	$1.690 \pm 0.006$	$1.687 \pm 0.005$
$V_0(km/s)$	$-3.6 \pm 0.6$	$-3.2 \pm 0.5$	$-2.5 \pm 0.5$
$\Phi$	$0.5000 \pm 0.0017$	$0.0011 \pm 0.0003$	$-0.0004 \pm 0.0003$
$A_{1,2}$	0.5	0.5	0.5
$i$	$85.39 \pm 0.11$	$84.52 \pm 0.24$	$85.02 \pm 0.20$
$T_1(K)$	$5104 \pm 2$	$5154 \pm 2.5$	$5156 \pm 2.2$
$T_2(K)$	$4762 \pm 102$	$4763 \pm 2.0$	$4763 \pm 1.8$
$q$	$0.520 \pm 0.002$	$1.848 \pm 0.007$	$1.840 \pm 0.007$
$\Omega_1 = \Omega_2$	$2.8224 \pm 0.0035$	$4.868 \pm 0.004$	$4.868 \pm 0.004$
$g_{1,2}$	0.32	0.32	0.32
$x(B)_{1,2}$	0.799, 0.799	0.844, 0.830	0.842, 0.830
$y(B)_{1,2}$	0.149, 0.149	-0.157, -0.176	-0.161, -0.176
$x(V)_{1,2}$	0.799, 0.799	0.803, 0.801	0.803, 0.801
$y(V)_{1,2}$	0.149, 0.149	0.003, -0.006	0.001, -9.996
$x(R)_{1,2}$		0.735, 0.747	0.736, 0.747
$y(R)_{1,2}$		0.109, 0.105	0.108, 0.105
$x(I)_{1,2}$		0.638, 0.648	0.639, 0.648
$y(I)_{1,2}$		0.156, 0.164	0.156, 0.164
$L_1/(L_1 + L_2)_B$	$0.550 \pm 0.024$	$0.516 \pm 0.02$	$0.515 \pm 0.02$
$L_1/(L_1 + L_2)_V$	$0.527 \pm 0.025$	$0.486 \pm 0.02$	$0.485 \pm 0.02$
$L_1/(L_1 + L_2)_R$		$0.458 \pm 0.02$	$0.457 \pm 0.02$
$L_1/(L_1 + L_2)_I$		$0.441 \pm 0.02$	$0.441 \pm 0.02$
$r_1(\text{pole})$	$0.3186 \pm 0.0012$	$0.3211 \pm 0.0006$	$0.3211 \pm 0.0005$
$r_1(\text{side})$	$0.3352 \pm 0.0014$	$0.3380 \pm 0.0008$	$0.3377 \pm 0.0006$
$r_1(\text{back})$	$0.3793 \pm 0.0027$	$0.3810 \pm 0.0015$	$0.3806 \pm 0.0012$
$r_2(\text{pole})$	$0.4263 \pm 0.0004$	$0.4218 \pm 0.0003$	$0.4217 \pm 0.0002$
$r_2(\text{side})$	$0.4560 \pm 0.0005$	$0.4506 \pm 0.0003$	$0.4504 \pm 0.0003$
$r_2(\text{back})$	$0.4909 \pm 0.0006$	$0.4854 \pm 0.0008$	$0.4851 \pm 0.0006$
$Lat(sopt)_1$			90.0
$Long(sopt)_1$			285.0
$R(sopt)_1$			19.0
$T.F.(sopt)_1$			0.9
$Lat(sopt)_2$	$117 \pm 2$		190.0
$Long(sopt)_2$	$7 \pm 0.7$		65.0
$R(sopt)_2$	$18 \pm 1$		112
$T.F.(sopt)_2$	$1.165 \pm 0.015$		1.1
Fill-out factor (%)	$29 \pm 2$	28.2	26.9
$\Sigma w(O - C)^2$	0.054797	0.039440	0.0377395

\*2째 칸에 정리된 값들은 3, 4번째 칸과의 비교를 위해 star 1과 star 2의 구분을 Samec et al.(2004)의 것과 반대로,  $q$ 는  $m_1/m_2$  값을 표기 했다.

0.9인 차거운 흑점(cool spot)의 존재 때문으로, 위상 0.25 이후 부근이 더 밝은 원인을 차거운 반성 표면의 위도  $90^\circ$ , 경도  $70^\circ$ 에, 각반경  $10^\circ$ , 온도인수는 1.1인 뜨거운 흑점(hot spot)때문으로 초기 가정하여, 흑점 인자들이 수렴할 때까지 반복 계산하여  $\Sigma w(O - C)^2$ 의 값이 0.0377395로 개선된 WD 해를 얻었다(해 2). 그 결과를 표 5의 5째 칸에 해 2의 내용을 수록하였다. 해 2에 의한 이론적인 광도곡선을 그림 4의 윗 부분에 실선으로 그렸고, 아래 부분은 그림 3에서 설명한 것과 같다. 또한 해 2의 이론적인 시선속도곡선을 그림 5에 실선으로 그렸다. 그림 5에서 원과 사각형은 Rucinski et al.



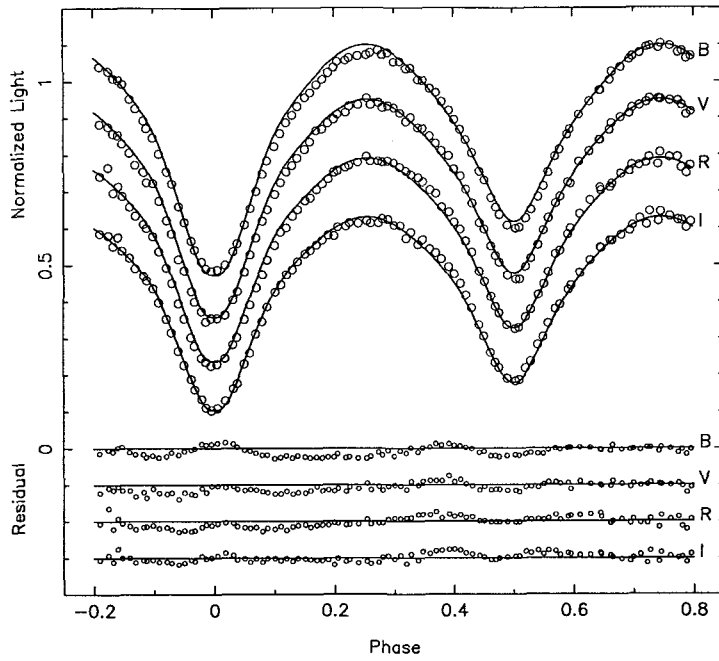


그림 3. V523의 대표점(열린 원)과 흑점을 고려하지 않은 경우의 이론적인 광도곡선(실선).

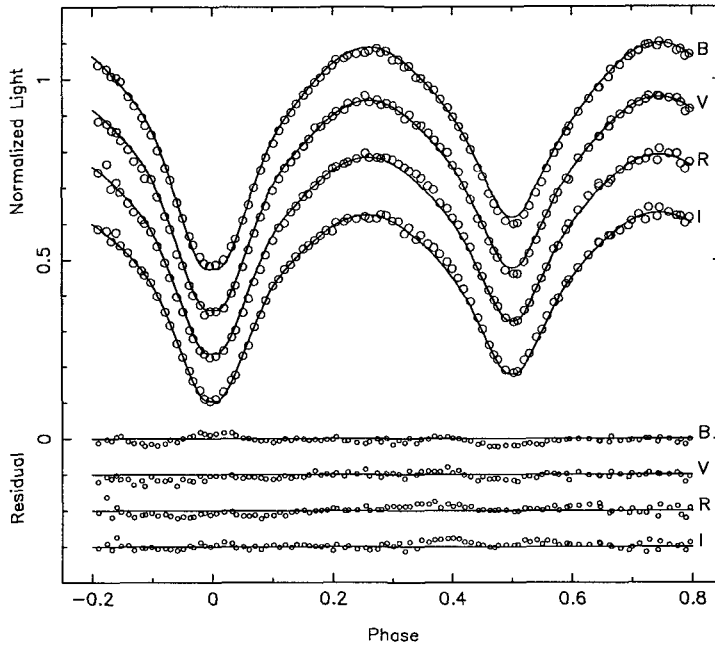


그림 4. V523의 대표점(열린 원)과 흑점을 고려한 경우의 이론적인 광도곡선(실선).

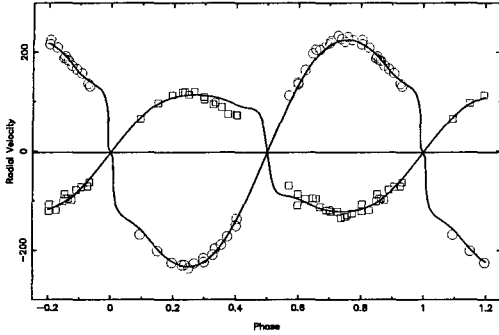


그림 5. Rucinski et al.(2003)의 관측점(원과 사각형) 위에 해 2에 의한 이론적인 속도곡선(실선).

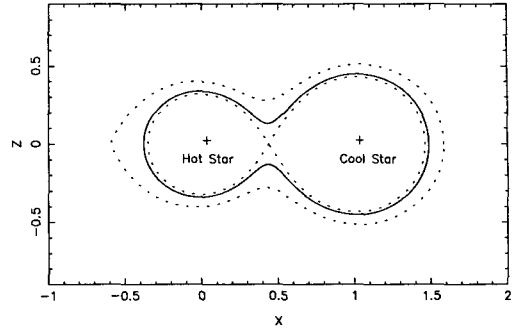


그림 6. V523 Cas의 Roche 기하.

표 6. V523 Cas 계의 절대량.

Source	$M_1/M_\odot$	$M_2/M_\odot$	$R_1/R_\odot$	$R_2/R_\odot$	$M_{bol,1}$	$M_{bol,2}$
Samec et al.(2004)	0.40	0.78	0.58	0.78	6.49	6.18
김진희와 정장해(2002)	0.32	0.54	0.52	0.66	...	...
this paper (해 2)	0.42	0.77	0.59	0.77	6.38	6.11

(2003)의 관측점들이다. 아울러, 우리의 결과와 비교를 위해 표 5의 2째 칸에는 Samec et al.(2004)의 해를, 3째 칸에는 김진희와 정장해(2002)의 해를 수록하였다.

그림 6은 해 2에 근거한 V523 Cas의 Roche 기하이다. 이 그림에서 실선은 V523 Cas계의 등포텐셜면( $\Omega$ )을 나타내고, 실선 안의 점선과 실선 밖의 점선은 각각 내부 포텐셜면( $\Omega_{in}$ )과 외부 포텐셜면( $\Omega_{out}$ )을 나타낸다.  $f = (\Omega_{in} - \Omega)/(\Omega_{in} - \Omega_{out})$ 으로 계산한 V523 Cas의 접촉도(fill-out factor:  $f$ )는 26.9% 이다. 이 그림에서 보듯이 V523 Cas 쌍성계는 쌍성의 진화단계 모형 중 과접촉상태에 있음을 나타내고 있다. Wilson-Devinny 방법으로 구한 우리 광도곡선의 해와 Rucinski et al.(2003)의 시선속도곡선의 해를 결합하여 산출한 V523 Cas 쌍성계의 절대량은 표 6에 정리한 바와 같다.

#### 4. 토의

Rucinski et al.(2003)의 정밀 분광관측에 의한 V523 Cas의 시선속도 곡선과 그 해( $q_{ph} = 0.514$ )가 발표되기 전만 하더라도, V523 Cas는 분광학적 질량비  $q_{sp}$ 와 측광학적 질량비  $q_{ph}$ 가 상호 일치하지 않는 별로 알려져 있었다. 최초의 시선속도곡선을 얻은 Milone et al.(1985)의 질량비는  $q_{sp}=0.42$ 인 반면, 측광학적 질량비는 Bradstreet(1981)의 0.61, Samec et al.(1989)의 0.571, Lister et al.(2000)의 0.53, 김진희와 정장해(2002)의 0.56, Samec et al.(2004)의 0.52, 그리고 이 논문의 0.54 등이다. 필터를 사용하지 않고 얻은 광도곡선을 분석하여 산출한 Bradstreet(1981)의 0.61을 제외하면, 여러 학자에 의하여 발표된 측광학적 질량비들은 0.52와 0.57 사이에 있어 매우 일관되며, Rucinski et al.(2003)의 분광관측 값( $q_{ph} = 0.514$ )과 거의 일치된다. 여기서, 우리는 잘 관측된 다색 광도곡선으로부터 결정된 질량비는 큰 분산을 가진 시선속도 곡선에서 얻은 분광학적 질량비보다 더 신뢰할 수 있다는 것을 알게 된다. Rucinski et al.(2003)의 정밀 시선속도 곡선 이전에 발표된 Lister et al.(2000)과 김진

회와 정장해(2002)의 질량비는 그것을 우리에게 단적으로 알려 주는 좋은 예라고 할 수 있다.

우리가 관측한 V 광도곡선에서 0.25 위상의 광도( $MaxI$ )가 0.75 위상의 광도( $MaxII$ )보다 약  $0^m.02$  정도 어두운 '역 O'Connell 효과'(reverse O'Connell effect)를 보인다. 반면, 김진희와 정장해(2002)의 V 광도곡선은 그 값이  $-0^m.02$ 로 역전되어 O'Connell 효과를 나타내었다. 그 이전의 Samec & Bookmyer(1987)의 값은  $0^m.018$ 으로 우리의 광도곡선과 거의 같다. Zhukov(1985)는 1개월 만에 V523 Cas계에서 O'Connell 효과 진폭이  $+0^m.033$ ,  $+0^m.025$ ,  $+0^m.015$ 으로 크게 변함을 보고한 바 있다. 이러한 현상은 많은 W UMa형 쌍성의 광도곡선에서 매우 보편적으로 나타난다(Kang et al. 2002, Kim et al. 2003). 그러나, O'Connell 효과가 시간적으로 어떻게 변화하는지에 대한 자세한 연구는 거의 없는 형편이다. O'Connell 효과의 자세한 성질을 파악하기 위해서는 지속적인 측광이 필요하다. 그럼에도 불구하고 O'Connell 효과의 원인을 대부분의 학자들은 a) 대류 대기를 가진 별 표면에서의 차거운 흑점(cool spot) 활동, 또는 b) 한 성분 별에서 다른 별로의 질량 이동에 의한 뜨거운 점(hot spot), 또는 c) 그들의 조합에 의한 것으로 해석하고 있다. 이 연구에서 우리는 c)의 관점에서 광도곡선을 분석하였다. 즉, V523 Cas의 두 성분 별은 깊은 대류층을 가지고 있는 K형 별이기 때문에 광구보다 차거운 흑점 활동이 활발할 것으로 예측된다. 한편, Samec et al.(2001)과 Qian(2001)의 주기 연구에 의하면, 이 쌍성계의 주기는 연속적으로 증가하고 있고, 그 원인을 질량이 작지만 뜨거운 별(주성)에서 질량은 크지만 차거운 별(반성)로의 질량 이동 때문으로 해석하였다. 이것은 우리가 반성에 뜨거운 흑점의 존재를 쉽게 가정할 수 있었던 이유이다. 우리의 해 2가 보여준 모형은 주성의 위도 83도, 경도 283도 부근에 중심을 두고 넓게 차거운 흑점이 있고, 반성의 위도 90도, 경도 40도 부근에 뜨거운 흑점이 존재하는 것이다. 이는 공통의 표피 속에서 주성의 비교적 넓은 영역으로 부터 물질이 반성의 비교적 좁은 영역에 강착하는 질량 이동의 설명이 가능하다.

**감사의 글:** WD 2004판을 사용할 수 있게 만든 Dr. R. E. Wilson께, 또 그 WD code를 PC에서도 사용할 수 있게 한 이재우 박사에게 감사를 드린다. 관측시간을 할당해 주고, 관측하는 동안 각종 편의 시설을 제공해 준 한국천문연구원 소백산천문대 여러분에게 감사드린다.

### 참고 문헌

- 김진희, 정장해 2002, 한국우주과학회지, 19, 263  
 김천희 1989, 박사학위논문, 연세대학교  
 Bradstreet, D. H. 1981, AJ, 86, 98  
 Haussler, K. 1974, IBVS, 887  
 Hoffmann, M. 1981, IBVS, 1976  
 Kang, Y. W., Oh, K.-D., Kim, C.-H., Hwang, C., Kim, H.-I. & Lee, W.-B. 2002, MNRAS, 331, 707  
 Kang, Y. W. & Wilson, R. E. 1989, AJ, 97, 848  
 Kim, C.-H., Lee, J. W., Kim, S.-L., Han, W., & Koch, R. H. 2003, AJ, 125, 322  
 Kwee, K. K. & van Woerden, H. 1956, Bull. Asyton. Inst. Neth., 12, 327  
 Lavrov, M. I. & Zhukov, G. V. 1975, Astron. Tsirk., 873, 1  
 Lister, T. A., Mcdermid, R. M., & Hildich, R. W. 2000, MNRAS, 317, 114  
 Milone, E. F., Hrvinnak, B. J., & Fisher, W. A. 1985, AJ, 90, 354  
 Qian, S.-B. 2001, Ap&SS, 278, 415

- Rucinski, S. M., Capobianco, C. C., Lu, W., DeBond, H., Thomson, J. R., Mochnacki, S. W., & Mel vin Blake, R. 2003, *AJ*, 125, 3258
- Samec, R. G., Banks, D. F., Hernandez, R., Faulkner, D. R., & Williams, D. B. 2001, *IBVS*, 5175
- Samec, R. G. & Bookmyer, B. B. 1987, *PASP*, 99, 1310
- Samec, R. G., Faulkner, D. R., & Wiliams, D. B. 2004, *AJ*, 128, 2997
- Samec, R. G., van Hamme, W., & Bookmyer, B. B. 1989, *AJ*, 98, 2287
- van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 209
- Weber, R. 1957, *L'Astronomie*, 71, 34
- Wilson, R. E. 1990, *ApJ*, 356, 613
- Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605
- Wilson, R. E. & van Hamme, W. 2004,  
<ftp://ftp.astro.ufl.edu/pub/wilson/lcdc2003/ebdoc2003.2feb2004.ps.gz>
- Zhukov, G. V. 1985. *Soviet Ast. Letter.* 11. 42