

## 접촉쌍성 BV Draconis의 측광학적 연구

이재우, 한원용<sup>1</sup>, 김천휘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

<sup>2</sup>충북대학교 천문우주학과

## PHOTOMETRIC STUDIES OF THE CONTACT BINARY BV DRACONIS

Jae Woo Lee, Wonyong Han<sup>1</sup>, Chun-Hwey Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory

E-mail: jwlee@hanul.issa.re.kr, whan@hanul.issa.re.kr

<sup>2</sup>Department of Astronomy & Space Science, Chungbuk National University, Korea

E-mail: kimch@astronomy.chungbuk.ac.kr

(Received October 15, 1999; Accepted November 20, 1999)

### 요 약

소백산천문대의 61cm 망원경을 이용하여 1996년 5월 12일과 1999년 5월 5일부터 6월 8일까지 총 8일 밤 동안 W UMa형 접촉쌍성 BV Dra의 CCD 측광관측을 수행하여 이 쌍성계의 BVR 광도곡선을 완성하였다. 우리의 관측으로부터 9개의 새로운 극심시각 (제1 극심: 5개, 제2 극심: 4개)을 산출하였고, 1999년 이후에 관측된 극심시각으로부터 새로운 광도요소를 결정하였다. 우리의 BVR 광도곡선과 Batten & Lu (1986)의 시선속도곡선을 Wilson-Devinney 쌍성모델의 접촉모드 (Mode 3)에 적용하여 BV Dra의 측광 및 분광학적 해를 구하였다. 이 분석에서 광도곡선 비대칭의 원인을 흑점에 의한 것으로 가정하여 흑점이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 1999년 광도곡선 해를 산출하였다. 그 결과, 우리는 이전의 연구자들에 의해 보고되지 않은 광도곡선 비대칭을 반성표면 위에 hot spot가 존재하고, 주성표면 위에 cool spot가 존재해서 일어난다고 해석하였다. 광도곡선과 시선속도곡선의 분석에 의해 산출한 BV Dra의 절대 물리량은  $M_1=0.40M_\odot$ ,  $M_2=1.01M_\odot$ ,  $R_1=0.72R_\odot$ ,  $R_2=0.40R_\odot$ 이다. 이 절대 물리량을 이용하여 질량-반경도를 살펴본 결과, 질량이 작은 주성이 종년 주계열 (TAMS) 근처에 있고, 질량이 큰 반성이 영년주계열 (ZAMS) 근처에 위치하고 있다. 이는 질량-반경도에서 다른 W형 W UMa 쌍성계의 위치와 매우 비슷하다.

### ABSTRACT

We performed CCD photometric observations of W UMa type contact binary BV Dra during eight nights from May 1996 to June 1999 using 61cm telescope at Sobaeksan Optical Astronomy

Observatory, and completed *BVR* light curves of the system. From our observations, we derived nine new times of minimum lights (five timings for primary eclipse, four for secondary) and determined new light elements with the times of minima observed since 1999. Our *BVR* light curves and Batten & Lu (1986)'s radial-velocity ones were simultaneously analyzed with contact mode (Mode 3) of Wilson-Devinney's binary model, and the photometric and spectroscopic solutions for BV Dra were solved. In the analysis, we derived the solutions of 1999 light curves with and without spots, respectively. As the results, asymmetry of light curves may be interpreted as produced by the existence of two spots; hot spot on the secondary and cool on the primary. Combining solutions of light curves and radial-velocity ones, absolute dimensions of BV Dra are  $M_1=0.40M_{\odot}$ ,  $M_2=1.01M_{\odot}$ ,  $R_1=0.72R_{\odot}$ ,  $R_2=0.40R_{\odot}$ . In mass-radius diagram, the less massive and hotter primary component of BV Dra is near TAMS and the secondary is near ZAMS, which is very similar to the other W-type W UMa binaries.

## 1. 서 론

BV Dra (ADS 9537A)는 BW Dra (ADS 9537B)와 안시쌍성을 형성하는 W UMa형 접촉쌍성계로 Batten & Hardie (1965)에 의해 최초로 발견되었다. 이 쌍성계는 분광형이 F8+F9인 주계열성들로 이루어져 있고, 약  $0^d.35$ 마다 그들의 질량중심 주위를 공전한다. BV Dra의 광전측광관측은 Wood (1970), Yamasaki (1979), Geyer et al. (1982), Rucinski & Kaluzny (1982), Rovithis & Rovithis-Livaniou (1982), 그리고 Hardie & Hall (1990)에 의해 수행되었고, 분광관측은 Batten & Hardie (1965)와 Batten & Lu (1986)에 의해 수행되었다. Batten & Hardie (1965)는 1.25인 질량비를 산출했지만, Batten & Lu (1986)는 고정밀 분광관측에 의한 시선속도곡선을 분석함으로써 이 쌍성계는 질량비가 2.488인 W형 W UMa 식쌍성계라고 제안하였다.

광도곡선 분석연구는 Geyer et al. (1982), Rucinski & Kaluzny (1982), Maceroni et al. (1983), Karimie (1985), Kaluzny & Rucinski (1986, 이하 KR), 그리고 Rovithis & Rovithis-Livaniou (1987) 등에 의해 수행되었다. Geyer et al. (1982), Rucinski & Kaluzny (1982), 그리고 Maceroni et al. (1983)은 질량비를 Batten & Hardie (1965)가 산출한 1.25의 값을 고정인자로 사용하였고, Karimie (1985)는 Batten & Hardie (1965)이 산출한 질량비를 초기값으로 하여 질량비가 1.205인 A형 접촉쌍성이라고 주장하였다. KR은 Batten & Lu (1986)가 분광관측한 시선속도곡선과 Yamasaki (1979)의 *V* 광도곡선을 Wilson-Devinney (이하 WD) 프로그램 (Wilson & Devinney 1971, Wilson 1979)을 이용하여 동시에 풀므로써 이 쌍성계가 W형 접촉쌍성임을 밝혔다.

한편, BV Dra의 주기 변화연구는 KR과 Hardie & Hall (1990)에 의해 수행되었다. KR은 이 쌍성계에 어떠한 주기변화도 일어나지 않음을 보고하였고, Hardie & Hall (1990)은 출판된 모든 극심시각을 분석하여 이 쌍성계가 약 19년의 자기활동 사이클에 의해 주기변화를 겪고 있다고 주장하였다. 만약, Hardie & Hall (1990)의 제안한 것처럼, 약 19년의 자기활동 사이클이 존재한다면 두 성분 중의 한 성분이나, 두 성분 모두에 자기활동 사이클에 의한 cool spot이 존재해야 하고, cool spot의 주기적인 변화에 의해 광

도변화와 광도곡선 비대칭을 보여야 한다. 현재까지 알려진 바에 의하면, W UMa형 쌍성들은 일반적으로 광도변화가 심하고 광도곡선이 비대칭을 보이는데, BV Dra의 이전 광전관측에서는 광도곡선 비대칭에 대한 어떠한 보고도 발표되지 않았다.

이상에서 살펴본 것을 요약하면, 접촉쌍성 BV Dra는 Batten & Lu (1986)의 분광관측 이후로 보다 정확한 광도와 시선속도곡선의 분석연구가 수행되었지만, W UMa형 쌍성들이 측광관측에서 보이는 광도변화와 광도곡선 비대칭에 대한 고려 없이 측광 및 분광학적 해가 산출되었다. 그러므로, BV Dra의 광도변화와 광도곡선 비대칭이 관측되고, 그러한 원인이 흑점의 존재 등에 의한 것으로 알려지면, 이전의 광도곡선 분석에 의해 산출한 측광학적 해를 새롭게 산출해야 한다. 따라서, 이 연구에서는 우리의 CCD 측광자료와 Batten & Lu (1986)의 분광자료를 이용하여, 이전의 연구자들에 의해 보고되지 않은 광도변화와 광도곡선 비대칭의 원인을 흑점에 의한 것으로 가정하여 WD 방법으로 두 개의 자료를 동시에 풀므로써 새로운 측광 및 분광해와 절대 물리량을 산출하고자 한다. 또한, 궤도요소와 절대 물리량들을 이용하여 이 쌍성계의 진화상태를 살펴봄으로서 W형 W UMa 쌍성계들의 일반적인 특징을 파악하고자 한다.

## 2. 관측 및 극심시각

BV Dra의 CCD 측광관측은 1996년 5월 12일과 1999년 5월 5일 부터 1999년 6월 8일까지 총 8일간 소백산천문대의 61cm 반사망원경에 액체질소로 냉각되는 PM512 CCD 카메라를 부착하여 수행하였다. 이때 사용한 필터는 표준 *BVR* 필터이다. BV Dra의 측광관측에 사용된 비교성은 1996년에는 BD +62° 1390, 1999년에는 BD +62° 1385를 사용하였다. 이 비교성들은 여러 관측자들에 의해 밝기 변화가 없는 것으로 알려진 항성들이다. 이 연구에서 수행된 CCD 측광은 Park (1993)에 의하여 기술된 방법을 따랐다. 총 8일간의 관측으로 총 2330점 (*B* 필터: 836점, *V* 필터: 848점, 그리고 *R* 필터: 646점)의 원시자료를 얻었고, 모든 관측치는 태양중심시각과 대기감광량을 보정하여  $JD_{\odot}$  대  $\Delta mag$  (변광성-비교성)으로 환산되었다. 우리의 관측의 정밀도는 *B*, *V*, *R* 필터에서 각각  $\pm 0.017$ ,  $\pm 0.023$ ,  $\pm 0.027$ 이다.

BV Dra의 측광관측자료로부터 각 필터별로 극심시각을 Kwee & van Woerden (1956) 방법에 의해 산출한 후, 각 필터별 극심시각을 가중평균 (weighted average)하여 표 1과 같이 총 9개 (제1 극심 5개, 제2 극심 4개)의 극심시각을 결정하였다. 표 1에서 형태 I는 제1 극심, 형태 II는 제2 극심을 나타낸다. BV Dra는 Hardie & Hall(1990)이 주장한 것처럼, 궤도 공전주기가 변하는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 최근의 관측자료에 맞는 새로운 광도요소를 구하기 위하여, 1999년에 관측된 극심시각만을 이용하여 최소자승법으로

$$\text{Min I} = JD_{\odot} 2451304.1249 + 0^d.35005336E$$

$$\pm 3 \qquad \qquad \qquad \pm 1$$

와 같은 새로운 광도요소를 구하였다. 이 광도요소를 이용하여 구한 BV Dra의 광도곡선을 그림 1에 제

표 1. BV Dra의 관측된 극심시각.

극심시각*	필터	형태	가중 평균치*	극심시각*	필터	형태	가중 평균치*
50216.1137 ±2	B	I	50216.1138 ±2	50216.2893 ±2	B	II	50216.2891 ±1
50216.1138 ±2	V	I		50216.2890 ±1	V	II	
51304.1267 ±6	B	I	51304.1249 ±3	51304.3007 ±2	B	II	51304.3004 ±2
51304.1247 ±3	V	I		51304.3003 ±3	V	II	
51304.1247 ±3	R	I		51304.3002 ±2	R	II	
51305.1745 ±2	B	I	51305.1746 ±2	51311.3017 ±5	B	II	51311.3014 ±6
51305.1748 ±2	V	I		51311.3007 ±6	V	II	
51305.1746 ±3	R	I		51311.3018 ±6	R	II	
51312.1774 ±7	B	I	51312.1774 ±5	51329.1539 ±1	B	II	51329.1539 ±1
51312.1775 ±4	V	I		51329.1538 ±4	V	II	
51312.1771 ±6	R	I		51329.1540 ±1	R	II	
51338.0806 ±2	B	I	51338.0802 ±1				
51338.0803 ±1	V	I					
51338.0801 ±1	R	I					

\*JD<sub>⊙</sub> 2400000+

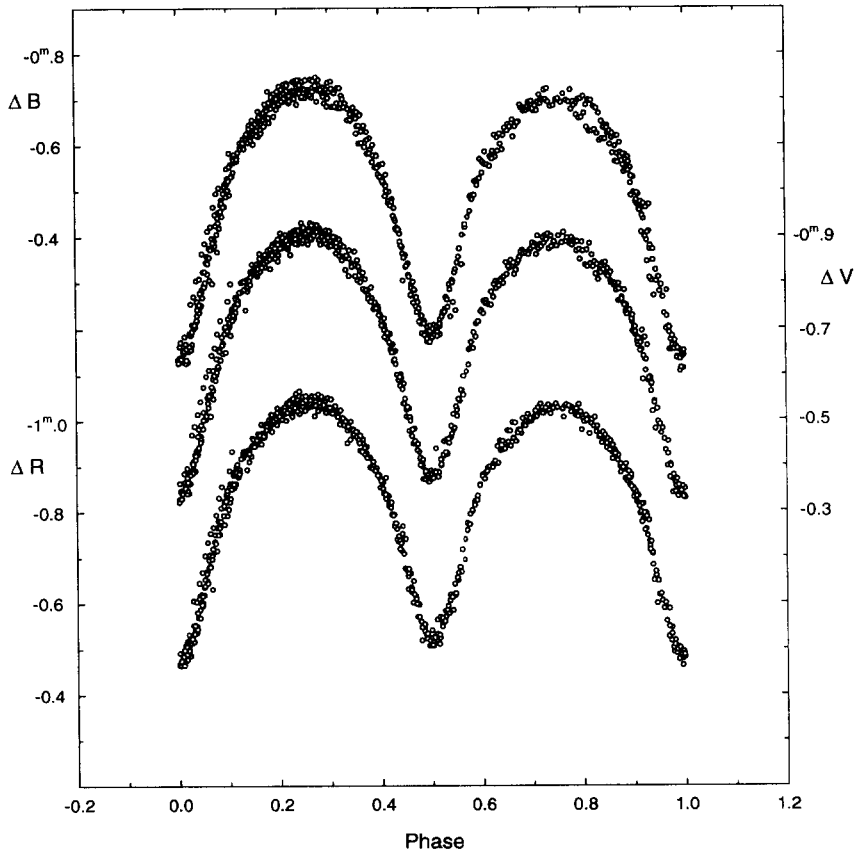


그림 1. BV Dra의 1999년 BVR 광도곡선.

시하였다. 이 그림에서 보듯이 새로운 광도곡선은 전 위상에 걸쳐 골고루 관측되었고, 특히, 0.25 위상 (제1 극대)의 밝기가 0.75 위상 (제2 극대)의 밝기보다 B필터는  $0^m.03$ , V필터는  $0^m.02$ , R필터는  $0^m.01$  정도 더 밝게 나타나 각 필터별 광도곡선이 비대칭임을 알 수 있다.

### 3. 광도 및 시선속도곡선의 분석

BV Dra의 광도곡선을 분석하기 위하여 관측점들을 각 필터별 0.02 위상간격으로 표 2와 같이 대표 점을 산출하였다. 표 2에서 Weight는 각각의 대표점을 산출하기 위해서 사용된 관측점의 개수이다. 작성된 대표점 광도곡선을 이용하여 BV Dra의 측광해를 산출하기 위하여, 1992년에 개정된 WD 프로그램

램 (Wilson 1990, Wilson 1992)을 사용하였다. BV Dra는 접촉쌍성으로 알려져 있기 때문에 WD 프로그램의 Mode 3을 사용하였고, 반사효과와 비선형 주연감광법칙을 고려하여 광도곡선을 분석하였다.

이때, 주성의 온도 ( $T_1$ ), 주연감광계수 ( $x_1=x_2$ ,  $y_1=y_2$ ), 중력감광지수 ( $g_1=g_2$ ), 반사율 ( $A_1=A_2$ ), 그리고 질량비 ( $q$ )는 고정인자로 사용하고, 그 외의 다른 인자들은 조정인자로 사용하였다. 질량비 ( $q$ )는 Batten & Lu (1986)가 산출한 2.488의 값을 사용하였다. WD 프로그램에 사용된 인자들의 초기치는 다음과 같다. 궤도경사각 ( $i$ )과 주성 및 반성의 온도 ( $T_1, T_2$ )는 KR이 산출한  $76^\circ.28$ , 6345K, 그리고 6245K를 각각 사용하였고, 반사율 ( $A_1=A_2$ )은 0.5 (Rucinski 1969), 중력감광지수 ( $g_1=g_2$ )는 0.40 (Pantazis & Niarchos 1998), 주연감광계수 ( $x_1=x_2$ ,  $y_1=y_2$ )는 van Hamme (1993)의 표를 보간하여 결정된 비선형 로그 함수법칙의 주연감광계수를 사용하였다 (표 3 참고).

먼저, 항성 표면에 어떤 흑점도 존재하지 않는다고 가정하여 분석한 결과에 의해 계산한 이론적인 광도곡선을 그림 2의 점선으로 나타내었다. 그림 2에서 보듯이 관측된 광도곡선의 비대칭 때문에 위상 0.75 근처에서 관측치와 이론치가 일치하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 광도곡선 비대칭의 원인을 흑점에 의한 것으로 가정하여 광도곡선을 분석하였는데, 이 경우 흑점이 어느 별에 있는지를 모르기 때문에 4가지 경우 (즉, 주성에 cool spot이나 hot spot이 존재할 때와, 반성에 cool spot이나 hot spot이 존재할 때)로 나누어 각각의 해를 구하였다. 이때, 우리는 흑점인자를 고려하지 않은 경우에 산출한 해를 WD 미분보정 프로그램(DC)의 초기값으로 사용하였다. 그 분석결과를 표 3의 3번째 열에서 6번째 열까지 수록하였다.

표 3에서 보듯이, cool spot보다 hot spot의 경우가  $\sum w_i(O_i - C_i)^2$ 의 값 (이하  $W$ )이 인자 1정도 작게 계산되어 hot spot 모델이 이론치가 관측치에 더 잘 맞는 것으로 나타났다. 같은 hot spot 모델이라도 반성에 hot spot이 있는 경우가 주성에 있는 경우보다 더 작게  $W$ 가 계산되었다. 그런데, 일반적으로 반성표면 위의 hot spot는 주성에서 반성으로 연속적인 질량이동에 의하여 생겨난 것으로 이해되고 있기 때문에 그 위치와 크기는 일정해야만 한다. 따라서, 단지 hot spot 모델만으로는 W형 W UMa 접촉쌍성계들의 일반적인 성질인 광도변화를 설명할 수 없다. 그러므로, 우리는 이 hot spot외에도 두 성분중의 한 성분에 cool spot가 존재한다고 가정하고, 광도곡선을 재분석하였다. 그 결과를 표 3의 7~8번째 열에 수록하였다. 주성표면 위에 cool spot이 존재하고, 반성표면 위에 hot spot이 존재할 경우, 이론치가 관측치와 더 잘 일치하고,  $W$ 가 더 작음을 알 수 있었다.

그림 2의 실선은 이 경우의 이론적인 광도곡선을 그린 것이다. 따라서, 우리는 접촉쌍성 BV Dra의 광도변화는 주성과 반성에 각각 cool spot와 hot spot가 동시에 존재해서 일어난다고 결론지을 수 있다. 최종적으로 BV Dra의 산출된 측광학적 해를 고정인자로 사용하고, KR이 산출한 분광 궤도요소를 초기치로 하여 조정인자로 사용함으로 Batten & Lu (1996)의 분광관측에 의한 시선속도곡선을 재분석하여 질량비 ( $q$ ), 질량중심 속도 ( $V_0$ ), 그리고 장반경 ( $a$ )을 새롭게 산출하였다. 그 결과를 표 3의 마지막 열에 제시하였고, BV Dra의 시선속도곡선을 그림 3에 그렸다.

표 2. BV Dra의 1999년 대표점.

Phase	$l_B$	Weight	Phase	$l_V$	Weight	Phase	$l_R$	Weight
0.0106	0.5874	22	0.0115	0.6013	22	0.0104	0.6032	24
0.0306	0.6192	26	0.0308	0.6363	24	0.0306	0.6390	24
0.0503	0.6761	22	0.0494	0.6903	22	0.0497	0.6939	23
0.0702	0.7349	20	0.0696	0.7489	21	0.0698	0.7543	20
0.0904	0.7980	19	0.0897	0.8098	18	0.0893	0.8066	18
0.1109	0.8529	22	0.1089	0.8543	20	0.1091	0.8602	21
0.1322	0.8960	12	0.1292	0.8911	15	0.1293	0.8920	14
0.1515	0.9172	15	0.1504	0.9238	14	0.1504	0.9237	15
0.1708	0.9404	17	0.1705	0.9457	19	0.1702	0.9477	17
0.1907	0.9693	19	0.1907	0.9629	18	0.1893	0.9694	18
0.2114	0.9890	20	0.2087	0.9817	21	0.2082	0.9821	22
0.2315	0.9908	18	0.2292	0.9913	20	0.2288	0.9970	19
0.2493	1.0000	14	0.2494	0.9998	15	0.2491	0.9999	14
0.2692	0.9994	12	0.2700	1.0063	17	0.2693	1.0020	15
0.2890	0.9937	11	0.2899	0.9964	14	0.2896	0.9971	13
0.3092	0.9891	10	0.3092	0.9836	12	0.3092	0.9861	13
0.3310	0.9682	11	0.3301	0.9562	11	0.3288	0.9598	9
0.3511	0.9432	10	0.3510	0.9377	11	0.3500	0.9387	13
0.3685	0.9120	13	0.3694	0.9035	13	0.3700	0.9063	12
0.3896	0.8716	11	0.3905	0.8674	11	0.3913	0.8691	11
0.4094	0.8265	16	0.4106	0.8233	16	0.4100	0.8319	14
0.4309	0.7674	15	0.4312	0.7680	14	0.4298	0.7729	15
0.4498	0.7047	13	0.4500	0.7097	14	0.4500	0.7209	15
0.4688	0.6547	15	0.4697	0.6557	15	0.4703	0.6606	15
0.4896	0.6158	15	0.4900	0.6188	15	0.4907	0.6255	15
0.5109	0.6154	12	0.5108	0.6241	14	0.5111	0.6301	14
0.5308	0.6464	11	0.5308	0.6558	10	0.5316	0.6637	10
0.5493	0.6849	9	0.5493	0.6988	10	0.5500	0.6996	10
0.5708	0.7604	8	0.5720	0.7711	7	0.5713	0.7759	7
0.5913	0.8242	8	0.5910	0.8283	7	0.5889	0.8262	7
0.6114	0.8608	7	0.6093	0.8662	7	0.6070	0.8689	7
0.6309	0.8895	7	0.6304	0.8998	8	0.6285	0.8966	8
0.6497	0.9124	8	0.6506	0.9273	8	0.6487	0.9255	8
0.6699	0.9321	8	0.6708	0.9420	8	0.6690	0.9444	8
0.6903	0.9613	8	0.6911	0.9634	8	0.6891	0.9650	8
0.7106	0.9673	8	0.7102	0.9763	7	0.7108	0.9835	7
0.7300	0.9806	7	0.7293	0.9867	8	0.7299	0.9861	8
0.7523	0.9733	4	0.7477	0.9817	4	0.7491	0.9916	4
0.7723	0.9833	4	0.7702	0.9883	6	0.7694	0.9883	6
0.7898	0.9636	8	0.7893	0.9727	7	0.7888	0.9795	8
0.8101	0.9540	8	0.8089	0.9583	7	0.8092	0.9632	8
0.8305	0.9316	8	0.8288	0.9327	8	0.8296	0.9444	8
0.8498	0.9145	10	0.8497	0.9243	11	0.8504	0.9175	11
0.8687	0.8866	12	0.8696	0.8926	12	0.8703	0.8881	12
0.8895	0.8519	15	0.8905	0.8548	15	0.8912	0.8542	15
0.9097	0.7950	15	0.9106	0.8042	15	0.9106	0.8121	14
0.9301	0.7364	16	0.9296	0.7548	14	0.9297	0.7550	15
0.9497	0.6720	7	0.9484	0.6866	9	0.9478	0.6839	8
0.9713	0.6120	14	0.9708	0.6250	11	0.9706	0.6303	12
0.9911	0.5835	15	0.9907	0.5959	17	0.9896	0.6021	14

표 3. 우리가 관측한 BV Dra의 1999년 광도곡선과 Batten & Lu (1986)의 시선속도곡선의 분석결과.

parameters	KR <sup>a</sup>							
	without spot	cool qn star1 <sup>b</sup>	hot on star1	cool on star2 <sup>c</sup>	hot on star2	cool1 <sup>d</sup> & hot2	cool2 & hot2	only $v_r$ adjusted
$V_0(km/s)$	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-60.6 ±6
$a(R_\odot)$	2.376	2.376	2.376	2.376	2.376	2.376	2.376	2.342 ±11
$q$	2.433	2.488	2.488	2.488	2.488	2.488	2.488	2.484 ±21
$i(^\circ)$	76.28	77.75 ±9	77.67 ±10	77.72 ±9	77.68 ±13	77.82 ±11	77.70 ±11	
$T_1(K)$	6245	6245	6245	6245	6245	6245	6245	
$T_2(K)$	6345	6423 ±8	6375 ±7	6425 ±8	6375 ±11	6373 ±7	6354 ±12	
$\Omega_1=\Omega_2$	5.799	5.887 ±4	5.903 ±3	5.887 ±4	5.900 ±6	5.897 ±4	5.901 ±4	
$g_1=g_2$	0.32	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
$X_1=X_2$		0.644	0.644	0.644	0.644	0.644	0.644	
$Y_1=Y_2$		0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	
$x_{B1}=x_{B2}$		0.817	0.817	0.817	0.817	0.817	0.817	
$y_{B1}=y_{B2}$		0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	
$x_{V1}=x_{V2}$	0.585	0.728	0.728	0.728	0.728	0.728	0.728	
$y_{V1}=y_{V2}$		0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	
$x_{R1}=x_{R2}$		0.635	0.635	0.635	0.635	0.635	0.635	
$y_{R1}=y_{R2}$		0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	
$l_{1B}^e$		0.3333	0.3245	0.3337	0.3245	0.3243	0.3210	
$l_{1V}^e$	0.3266	0.3299	0.3223	0.3302	0.3223	0.3222	0.3192	
$l_{1R}^e$		0.3272	0.3204	0.3275	0.3204	0.3203	0.3176	
$r_1(\text{pole})$		0.2861 ±3	0.2849 ±3	0.2861 ±3	0.2851 ±3	0.2853 ±3	0.2850 ±3	
$r_1(\text{side})$		0.2987 ±4	0.2972 ±3	0.2987 ±4	0.2975 ±3	0.2978 ±3	0.2974 ±4	
$r_1(\text{back})$		0.3336 ±6	0.3313 ±5	0.3337 ±6	0.3317 ±5	0.3321 ±5	0.3316 ±6	
$\bar{r}_1$	0.318	0.3061	0.3045	0.3062	0.3048	0.3051	0.3047	
$r_2(\text{pole})$		0.4354 ±3	0.4342 ±3	0.4354 ±3	0.4344 ±3	0.4346 ±3	0.4344 ±3	
$r_2(\text{side})$		0.4653 ±4	0.4638 ±3	0.4653 ±4	0.4640 ±4	0.4643 ±4	0.4640 ±4	
$r_2(\text{back})$		0.4933 ±5	0.4913 ±4	0.4933 ±5	0.4916 ±5	0.4920 ±5	0.4915 ±5	
$\bar{r}_2$	0.472	0.4647	0.4631	0.4647	0.4633	0.4636	0.4633	
$Lat.$		62.02	88.65	60.27	85.98	66.43 89.71	60.65 89.24	
$Long.$		89.83	238.16	268.48	56.81	56.85 52.09	209.05 55.93	
$R_{spot}$		11.72	10.64	11.10	8.75	13.90 10.87	13.76 10.95	
$(T.F.)_{spot}$		0.679	1.250	0.846	1.164	0.954 1.114	0.978 1.110	
$\Sigma w_i(O_i - C_i)^2$		0.03097	0.01986	0.03094	0.01944	0.01863	0.01888	

<sup>a</sup>. Kaluzny & Rucinski (1986), <sup>b</sup>. primary, <sup>c</sup>. secondary, <sup>d</sup>. cool spot on primary, <sup>e</sup>.  $l_1=L_1/(L_1+L_2)$



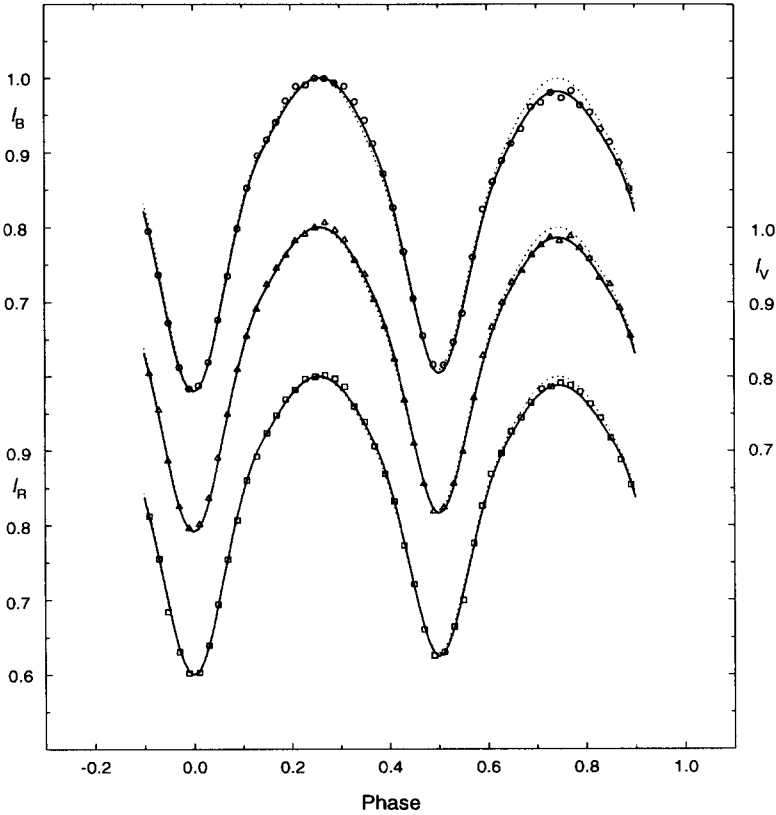


그림 2. BV Dra의 1999년 BVR 대표점 광도곡선. 점선과 실선은 각각 흑점을 고려하지 않았을 때와 했을 때의 이론적인 광도곡선이다.

#### 4. 절대 물리량과 진화단계

이 논문에서 새로 산출한 측광 및 분광학적 해를 이용하여 BV Dra의 절대 물리량을 표 4와 같이 산출하였다. 여기서, 절대광도  $\log L/L_{\odot}$ 는 태양의 복사등급으로  $4^m.69$ 를 사용하고, Pogson 관계식을 이용하여 구하였다.

한편, BV Dra의 Roche 기하를 알아보기 위하여 표 3에 주어진 질량비 ( $q$ )와 표면 포텐셜 ( $\Omega_1=\Omega_2$ )을 이용하여 이 쌍성계의 Roche 기하를 계산하고, 그 결과를 그림 4에 그렸다. 그림 4는  $z=0$ 으로 가정하여 두 성분의 극에서 두 성분별을 적도면으로 투영하였을 때의 Roche 모델이다. 이 그림에서 실선은 BV Dra계의 등포텐셜면 ( $\Omega_1=\Omega_2$ )을 나타내고, 실선안의 점선은 내부 한계포텐셜면 ( $\Omega_{in}$ )을, 실선밖의 점선

표 4. BV Dra의 절대 물리량.

	주성	반성
$M_{\odot}$	0.40	1.01
$R_{\odot}$	0.72	1.09
$\log g(cgs)$	4.33	4.37
$\log T(K)$	3.804	3.796
$\log L/L_{\odot}$	-0.16	0.17
$M_{bol}(mag)$	5.08	4.27

은 외부 한계포텐셜면 ( $\Omega_{out}$ )을 각각 나타낸다. BV Dra의 접촉도 (fill-out factor)는  $f=4.3\%$ 로써 KR이 산출한 값 (11.4%) 보다 7%정도 작게 계산되었다. 따라서, BV Dra는 거의 marginal contact의 진화상태에 있음을 알 수 있다.

표 4에 있는 BV Dra의 절대 물리량을 이용하여 질량-반경도를 다른 W 형 접촉쌍성계와 함께 그리면 그림 5와 같다. 이 그림에서 채워진 원은 반성을 나타내고, 채워지지 않은 원은 주성을 나타낸다. 또한, 영년주계열 (ZAMS)과 종년주계열 (TAMS)은 Mengel et al. (1979)의 항성진화모형을 이용하여 그린 것이다. 이 그림들에서 실선은 화학조성이  $Y=0.20, Z=0.01$ , 대쉬선은 화학조성이  $Y=0.30, Z=0.01$ , 그리고 점선은 화학조성이  $Y=0.40, Z=0.01$ 인 것을 나타낸다. 이 그림으로부터 BV Dra의 주성과 반성이 주계열성임을 알 수 있다. 이는 다른 W 형 W UMa 쌍성계와 같은 경향을 나타냄을 알 수 있다.

## 5. 요약

BV Dra는 W 형 W UMa 접촉쌍성계로써 질량이 작은 주성이 큰 반성보다 표면온도가 더 커서 주극심에서 주성이 가려지는 쌍성계이다. 일반적으로, W 형 접촉쌍성계들은 광도변화가 심하고, 광도곡선이 비대칭이며, 질량교환이 일어나는 것으로 생각되고 있다. 그러나, BV Dra는 광도변화와 광도곡선 비대칭에 대한 고려 없이 측광 및 분광학적 해가 산출되었고, 광도변화에 대한 정량적인 해석이 이제까지는 없었다. 따라서, 우리는 접촉형 식쌍성 BV Dra의 CCD 측광관측을 수행하여 새로운 광도곡선을 완성하고, 이 광도곡선 분석을 통하여 이 쌍성계에 풀리지 않고 남아있는 광도변화에 대하여 살펴보았다.

이 연구에서 우리가 관측한 1999년 광도곡선을 1992년에 개정된 Wilson-Devinney 쌍성모델의 접촉 모드 (Mode 3)를 사용하여 분석하였다. 이 분석에서 광도곡선 비대칭의 원인을 spot의 존재에 의한 것으로 가정하여 가능한 4가지 경우에 대하여 광도곡선을 분석하여 잔차의 가중치 제곱의 합이 가장 작은 경우를 이 쌍성계의 측광해로 결정하였다. 그 결과, 반성표면 위에 hot spot이 존재하는 경우가 두 성분 중의 어느 한 성분에 cool spot이 존재하거나 주성표면 위에 hot spot이 존재할 때 보다 이론치가 관측치와 잘 일치함을 알 수 있다. 이 hot spot은 W 형 W UMa 쌍성계들에서 일반적으로 나타나는 질량교환에 의한 것으로 유추할 수 있다. 그러나, 연속적인 질량교환에 의하여 생겨난 hot spot의 존재는 hot spot의

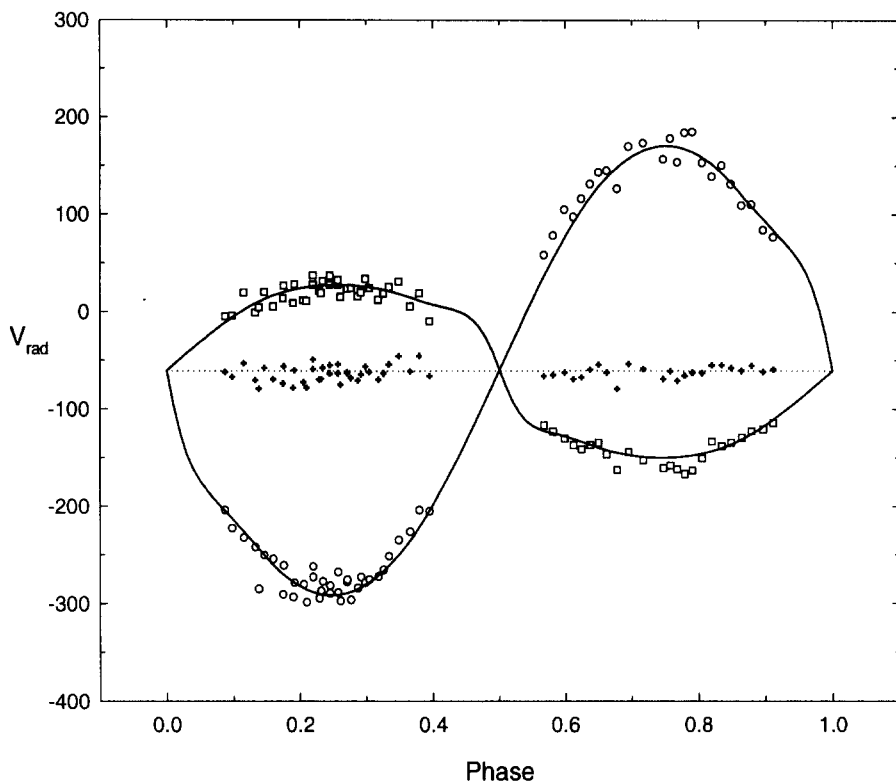


그림 3. BV Dra의 관측된 시선속도 곡선 (Batten & Lu 1986)과 이론적인 시선속도곡선. “+”는 관측된 분광자료틀을 이용하여 계산한 질량중심 속도이고, 점선은 이론적인 질량중심속도이다.

위치와 크기가 일정하기 때문에, W 형 접촉쌍성계들의 일반적인 성질인 광도변화를 설명할 수 없다. 따라서, 우리는 두 성분중의 한 성분에 cool spot가 존재한다고 가정하여 광도곡선을 분석하였다. 그 결과, 주성표면 위에 cool spot가 존재하고 반성표면 위에 hot spot이 존재할 경우, 이론치가 관측치를 보다 잘 나타냄을 알 수 있다.

한편, 우리가 관측한 1999년 광도곡선과 Batten & Lu (1996)의 시선속도곡선을 결합하여 산출한 BV Dra의 절대 물리량은  $M_1=0.40M_{\odot}$ ,  $M_2=1.01M_{\odot}$ ,  $R_1=0.72R_{\odot}$ , 그리고  $R_2=0.40R_{\odot}$ 이다. 이 절대량을 이용하여 질량-반경도를 살펴본 결과, 질량이 작은 뜨거운 주성이 종년주계열 근처에 있고, 질량이 큰 차가운 반성이 영년주계열 근처에 위치하고 있다. 이는 다른 W 형 W UMa 쌍성계와 같은 경향을 나타냄을 알 수 있다.

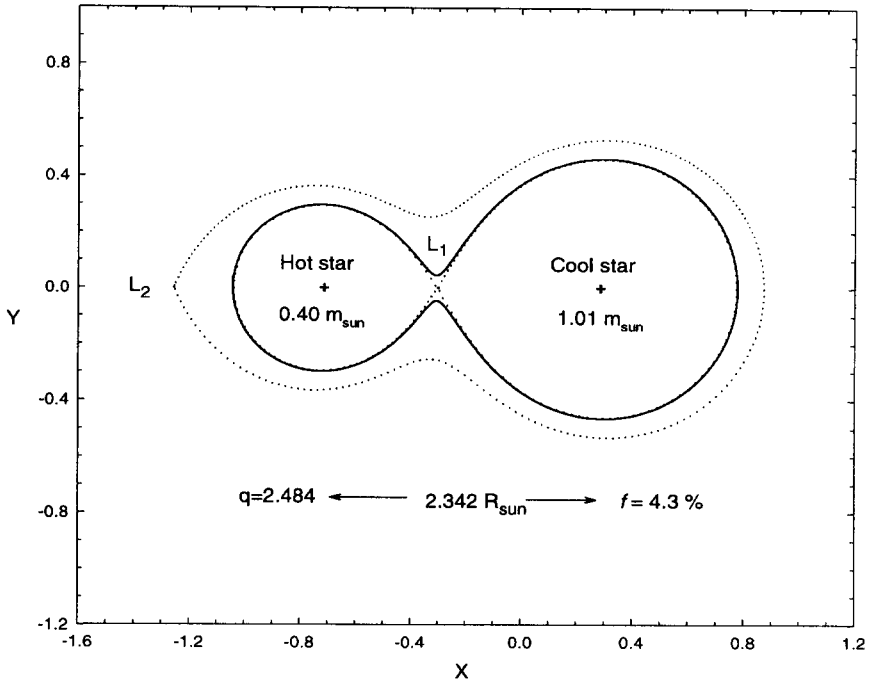


그림 4. BV Dra의 Roche 기하. 종축과 횡축의 단위는 두 별사이의 거리를 1로 하였을 때를 기준으로 한 것으로 위상 0.25 일 때 BV Dra의 절대크기 모습이다.

감사의 글: 이 연구는 1998년도 교육부 기초과학연구소 학술연구조성비(과제번호 1998-015-D00286) 지원에 의한 것임.

### 참고문헌

- Batten, A. H. & Hardie, R. H. 1965, AJ, 70, 666
- Batten, A. H. & Lu, W. 1986, PASP, 98, 92
- Geyer, E. H., Hoffmann, M. & Karimie, M. T. 1982, A&AS, 48, 85
- Hardie, R. H. & Hall, S. H. 1990, J., Astrophys., Astr., 1990, 11, 265
- Kaluzny, J. & Rucinski, S. M. 1986, AJ, 92, 666
- Karimie, M. T. 1985, Ap&SS, 115, 251
- Kwee, K. K. & van Woerden, H. 1956, Bull., Astron., Insts., Neth., 12, 327

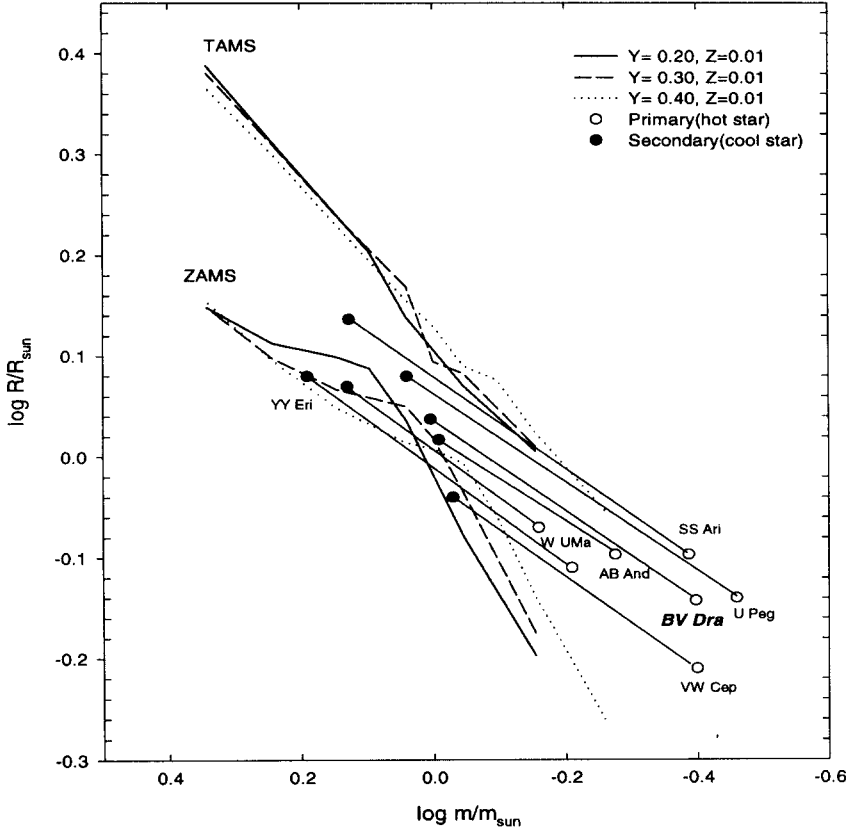


그림 5. BV Dra의 질량-반경도. 채워진 원은 반성을 나타내고, 채워지지 않은 원은 주성을 나타낸다.

Maceroni, C., Milano, L. & Russo, G. 1983, A&AS, 51, 425  
 Mengel, J. G., Sweigart, A. V., Demarque, P. & Gross, P. G. 1979, ApJS, 40, 733  
 Pantazis, G. & Niarchos, P. G. 1998, A&A, 335, 199  
 Park, N., -K. 1993, PKAS, 8, 185  
 Rovithis, P. & Rovithis-Livaniou, H. 1982, Ap&SS, 82, 229  
 Rovithis, P. & Rovithis-Livaniou, H. 1987, A&AS, 70, 63  
 Rucinski, S. M. & Kaluzny, J. 1982, Ap&SS, 88, 433  
 Rucinski, S. M. 1969, A&A, 19, 245  
 van Hamme, W. 1993, AJ, 106, 209

Wilson, R. E. 1979, *ApJ*, 234, 1054

Wilson, R. E. 1990, *ApJ*, 356, 613

Wilson, R. E. 1992, in *New Frontiers in Interacting Binary Star Researches*, eds. by K. C. Leung & I. -S. Nha (ASP Conf.: Seoul), pp.91-126

Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605

Wood, D. B. 1970, *BASS*, 2, 357

Yamasaki, A. 1979, *Ap&SS*, 60, 173