

식쌍성 SW Lacertae의 *UBV* 광도곡선

한원용, 김강민, 김천휘, 이우백, 김두환
천문우주과학연구소
(1988년 5월 25일 받음; 1988년 6월 10일 수리)

UBV Light Curves of the Eclipsing Binary SW Lacertae

Won-Yong Han, Kang-Min Kim, Chun-Hwey Kim,
Woo-Baik Lee, and Tu-Hwan Kim
Institute of Space Science and Astronomy
36-1, Whaam-dong, Suh-gu, Daejeon, Chungnam, 302-348, Korea
(Received May 25, 1988; Accepted June 10, 1988)

요 약

W UMa 형 식쌍성 SW Lac의 *UBV* 광전관측이 1987년 10월부터 12월까지 소백산 천문대의 61 cm 반사망원경을 이용하여 4일 밤 수행되어 새로운 광도곡선을 얻었다. 이 광도곡선은 이 쌍성계의 광도변화를 알아보기 위해 최근에 발표된 광도곡선과 비교하여 전체적인 밝기와 극심시각 부근의 변화 등을 조사하였다. 또한, 이 연구의 관측으로 4개의 극심시각이 결정되었고, 이로부터 얻은 *O-C*값으로 주기변화를 검토하였다.

Abstract

New differential photoelectric observations in *UBV* system of the W UMa-type eclipsing binary SW Lac are presented. The data were obtained on 4 nights from October to December in 1987 using the 61 cm reflector at Sobaeksan Astronomical Observatory. These light curves are compared with recent published light curves in order to check the light curve variations and magnitude difference of minimum light phases. Four times of minimum light are deduced and the orbital period variation of SW Lac has been discussed.

I. 서 론

식쌍성 SW Lacertae는 그 밝기 변화가 알려진 이래(Leavitt 1918), 70여년 동안 많은 학

자들의 연구대상으로서 광도곡선의 변화와 주기변화, 분광학적 특성 등의 여러 가지 연구결과가 발표되었다. 이 쌍성계는 대표적인 W UMa 형으로서 Wyse(Leung *et al.*, 1984)는 분광형을 G3으로 분류한 반면에 Roman(1956)은 이를 KOV로 분류하였다. Struve(Leung *et al.*, 1984)는 시선속도를 측정하여 질량비를 결정하였다. Chou(1963)는 광전측광에 의한 광도곡선을 분석하여 이 쌍성계의 변광이 자체변화에 의한 것이며, 주기변화의 원인은 제 3체에 의한 것이거나 apsidal 운동이라기보다는 활발한 질량교환에 의한 가능성을 논의하였다. 그 후 Bookmyer(1965), Rucinski(1968), Faulkner and Bookmyer(1980), Leung *et al.*(1984), Niarchos(1987)에 의하여 *UBV* filter를 이용한 광도곡선과 광도변화 형태, 주기변화, 그리고 광도곡선의 궤도요소 계산 등의 연구가 활발히 진행되었다. 또한, Jameson and Akinici(1979)는 주변감광 효과와 반사효과에 의한 영향을 최소화하여 이 쌍성계의 모델 연구에 도움을 줄 수 있는 적외선 파장 영역의 광도곡선을 발표하였고, Binnendijk(1984)는 SW Lac을 구성하는 두 별 중에서 반경은 크지만 표면온도가 낮은 성분별(반성)의 광구표면에 *subluminous region*이 있기 때문에 이 쌍성계의 광도가 변화한다는 모델을 제시하였고, 그 *subluminous region*은 *circumstellar material* 혹은 *starspot* 때문에 생겨날 수 있다고 주장하였다.

현재까지 발표된 SW Lac의 광도곡선들은 제 1극심과 제 2극심의 광도의 깊이뿐만 아니라 광도곡선 모양까지도 서로 차이를 보이고 있고, 이에 따라 이 쌍성계의 궤도요소와 측광학적인 요소가 여러 연구자들마다 다소의 차이를 보여 주고 있으므로 차후로도 계속적인 관측이 필요할 것이다. 따라서 이 연구는 SW Lac의 새로운 광도곡선을 얻기 위한 광전측광을 수행하여, 최근에 발표된 다른 사람들의 광도곡선과 비교하여 광도변화의 형태를 조사하고, 관측한 극심시각으로 주기변화를 알아보기 위한 *O-C* 값을 계산하였다.

II. 관 측

SW Lac의 광전측광은 천문우주과학연구소 소백산 천문대의 61cm Cassegrain 반사망원경을 이용하여 1987년 10월부터 12월 사이에 4일 밤 수행되었다. 사용한 filter는 Johnson(1963)의 표준 filter와 유사한 *UBV* filter이며, 광전증배관은 1P21인데 1987년 12월 18일에 수행한 관측을 제외하고는 모두 *dryice*로 냉각하였고 사용한 전압은 직류 -900V이다. 제 1비교성과 제 2비교성은 각각 BD+37°4715와 BD+37°4711이고 각 관측일마다 제 1비교성의 관측치를 이용하여 최소승법에 의해 감광계수를 파장별로 계산하여 빛의 양을 보정하였다. 이 관측의 *probable error*는 제 1비교성과 제 2비교성의 등급차로부터 ΔU 는 ± 0.018 , ΔB 는 ± 0.012 , ΔV 는 ± 0.008 을 얻었다. 관측에 사용한 소백산 천문대의 관측기와 관측자료의 처리방법, 그리고 표준화에 대하여는 Han(1984)과 Han and Kim(1988)이 자세히 설명한 바 있다.

관측결과는 표 I에 heliocentric Julian day, ΔV , ΔB , ΔU 의 순서로 수록하였다. 광도곡선의 phase를 계산하기 위한 이전 연구자들의 광도요소는 이 쌍성계의 급격한 주기변화로 인하여 우리가 관측한 광도곡선과 잘 일치하지 않았다. 따라서 우리가 관측한 광도곡선을 잘 만족시키는 새로운 광도요소를 표 II에 제시한 극심시간을 이용하여 최소자승법으로 계산하였고, 이로부터 그림 1의 광도곡선의 phase를 결정하였다. 새로운 광도요소는 다음과 같다.

$$Min I = JD Hel \quad 2447091.2606 + 0^d32072240 E \dots\dots\dots (1)$$

III. 광도곡선과 주기변화

그림 1에 있는 SW Lac의 광도곡선에서 가장 윗부분은 관측의 정밀도와 제1비교성의 변광여부를 점검하기 위한 $\Delta V(ch-comp)$ 이고, 아래 쪽으로 차례로 ΔU , ΔB , ΔV 의 광도곡선과 $\Delta(B-V)$ 의 색광도곡선을 나타내었다. 이 광도곡선은 전 위상에 걸쳐 모두 완성되었고, 위상 0.5를 중심으로 거의 대칭인 형태를 보여 주고 있다.

극심부분에서의 광도변화를 살펴보기 위하여 가장 최근에 발표된 Niarchos(1987)의 관측결과와 비교한 결과 이 연구의 광도곡선은 제1극심의 V 가 0.05 등급 감소하였고, B 는 변화가 거의 없었으나, 제2극심에서는 V 와 B 가 각각 0.12 등급과 0.04 등급이 감소하였다. 또한, 제1극심과 제2극심의 깊이의 차이를 보면 Niarchos에 비하여 V 와 B 에서 각각 0.08 등급과 0.05 등급 정도 증가하였다. 한편, 광도곡선의 형태를 비교하면 Niarchos의 관측은 위상 0.75 부근의 밝기가 위상 0.25에서의 밝기에 비해 약 0.1 등급 정도 밝게 나타나고 있으나 이 연구의 광도곡선에서는 거의 차이가 나타나지 않고 있다.

이와 같은 결과를 Binnendijk(1984)가 제안한 반성의 광구표면의 subluminoous region의 존재 모델에 적용하면 Niarchos가 관측했던 시점에서 subluminoous region은 반성의 많은 부분에 존재하였기 때문에 비대칭적인 광도곡선이 관측되었고, 따라서 반성의 밝기가 어두웠지만 그 subluminoous region은 그 후 점차 크기가 감소하여 4년 후인 우리의 관측시점에서 거의 사라져 0.25 phase와 0.75 phase의 밝기가 거의 비슷한 대칭적인 광도곡선을 관측할 수 있게 된 것이고, 따라서 반성의 밝기가 증가한 것으로 설명할 수도 있다.

그러나 SW Lac은 제2극심에서 transit eclipse(Bookmyer 1965)이므로 제2극심에서 반성은 주성에 의하여 대부분이 가려진다. 따라서 위에서 언급한 관측현상을 고려하면 SW Lac계의 광도변화에 주요한 원인은 주성에 기인하는 것으로 볼 수도 있는데, 이것은 반성이 변광의 주요 원인이라고 제안한 Binnendijk의 의견과는 상치되는 것이다. 이와 같은 모순은 차후의 계속적인 관측을 통해서 해결되어야 할 것이다.

앞에서 언급한 바와 같이, 표 I에 수록한 SW Lac의 관측점으로부터 4개의 극심시각을

Table I. Differential Observations of SW Lac in the UBV System

JD Hel 2447000+	ΔV	JD Hel 2447000+	ΔB	JD Hel 2447000+	ΔU
076.0343	0.124	076.0343	-0.057	076.0343	-0.440
.0401	0.036	.0417	-0.174	.0421	-0.589
.0451	-0.035	.0458	-0.254	.0467	-0.664
.0510	-0.132	.0517	-0.339	.0522	-0.752
.0627	-0.243	.0631	-0.460	.0638	-0.865
.0682	-0.320	.0689	-0.559	.0696	-0.978
.0825	-0.407	.0831	-0.646	.0838	-1.024
.0890	-0.450	.0896	-0.688	.0903	-1.078
.0977	-0.482	.0983	-0.715	.0989	-1.118
.1022	-0.483	.1028	-0.700	.1034	-1.115
.1119	-0.460	.1125	-0.678	.1131	-1.096
.1243	-0.454	.1250	-0.682	.1256	-1.034
.1362	-0.375	.1368	-0.596	.1373	-1.022
.1406	-0.344	.1411	-0.577	.1417	-0.955
.1495	-0.279	.1500	-0.481	.1506	-0.865
.1630	-0.089	.1634	-0.280	.1640	-0.658
.1669	-0.025	.1673	-0.203	.1679	-0.550
091.0675	-0.254	091.0675	-0.469	091.0675	-0.824
.0755	-0.172	.0755	-0.393	.0755	-0.726
.0880	0.042	.0880	-0.161	.0880	-0.531
.0939	0.148	.0939	-0.058	.0939	-0.426
.1050	0.173	.1050	-0.029	.1050	-0.411
.1130	0.054	.1130	-0.159	.1130	-0.515
.1234	-0.123	.1234	-0.337	.1234	-0.693
.1321	-0.219	.1321	-0.433	.1321	-0.817
.1605	-0.447	.1605	-0.677	.1605	-1.065
.1689	-0.474	.1689	-0.713	.1689	-1.108
.1807	-0.483	.1807	-0.713	.1807	-1.092
.1880	-0.479	.1880	-0.711	.1880	-1.077
.2012	-0.418	.2012	-0.644	.2012	-1.024
.2091	-0.370	.2091	-0.594	.2091	-0.985
.2213	-0.279	.2213	-0.497	.2213	-0.881
.2293	-0.197	.2293	-0.428	.2293	-0.788
.2525	0.200	.2525	0.071	.2525	-0.274
.2598	0.353	.2598	0.177	.2598	-0.169

→

Table I. continued

JD Hel 2447000+	ΔV	JD Hel 2447000+	ΔB	JD Hel 2447000+	ΔU
091.2692	0.237	.2692	0.093	.2692	-0.273
.2799	0.003	.2799	-0.188	.2799	-0.587
.2907	-0.183	.2907	-0.369	.2907	-0.763
.2994	-0.288	.2994	-0.472	.2994	-0.802
107.9561	0.034	107.9561	-0.178	107.9561	-0.537
.9658	-0.141	107.9658	-0.360	107.9658	-0.699
.9803	-0.290	.9803	-0.542	.9803	-0.913
.9897	-0.364	.9897	-0.618	.9897	-1.002
108.0022	-0.433	108.0022	-0.690	108.0022	-1.072
.0108	-0.471	.0108	-0.718	.0108	-1.094
.0209	-0.486	.0209	-0.728	.0209	-1.138
.0294	-0.495	.0294	-0.714	.0294	-1.115
.0379	-0.443	.0379	-0.678	.0379	-1.097
.0470	-0.397	.0470	-0.625	.0470	-1.026
.0566	-0.333	.0566	-0.553	.0566	-0.946
.0632	-0.298	.0632	-0.511	.0632	-0.897
.0750	-0.168	.0750	-0.391	.0750	-0.724
.0819	-0.067	.0819	-0.294	.0782	-0.631
.0902	0.107	.0902	-0.113	.0902	-0.417
.0980	0.187	.0980	-0.010	.0980	-0.348
.1051	0.125	.1058	-0.092	.1064	-0.479
.1133	-0.009	.1133	-0.232	.1133	-0.615
.1207	-0.115	.1207	-0.342	.1207	-0.750
.1286	-0.200	.1286	-0.432	.1286	-0.828
.1626	-0.489	.1626	-0.715	.1626	-1.142
.1714	-0.502	.1714	-0.726	.1714	-1.112
.1838	-0.517	.1838	-0.738	.1838	-1.000
147.9259	-0.468	147.9259	-0.702	147.9259	-1.108
.9328	-0.501	.9328	-0.734	.9328	-1.145
.9467	-0.503	.9472	-0.759	.9479	-1.163
.9534	-0.505	.9534	-0.749	.9534	-1.156
.9687	-0.440	.9687	-0.691	.9687	-1.089
.9742	-0.423	.9742	-0.655	.9742	-1.041
.9818	-0.347	.9818	-0.587	.9818	-0.967
.9901	-0.291	.9901	-0.519	.9901	-0.904

→ Table I. continued

JD Hel 2447000+	ΔV	JD Hel 2447000+	ΔB	JD Hel 2447000+	ΔU
147.9978	-0.200	147.9978	-0.432	147.9978	-0.804
148.0030	-0.118	148.0030	-0.345	148.0030	-0.721
.0127	0.077	.0127	-0.149	.0127	-0.496
.0193	0.253	.0193	0.059	.0193	-0.302
.0273	0.364	.0273	0.182	0.273	-0.149
.0325	0.338	.0325	0.151	.0325	-0.213
.0439	0.107	.0439	-0.097	.0439	-0.469
.0488	-0.002	.0488	-0.209	.0488	-0.574
.0564	-0.142	.0564	-0.357	.0564	-0.745
.0630	-0.211	.0630	-0.429	.0630	-0.814
.0707	-0.301	.0707	-0.486	.0707	-0.932

Table 2. 관측한 SW Lac의 극심시각과 O-C 값

JD Hel	Min.	O - C
2447091.1007	II	+ 0.0005
2447091.1607	I	+ 0.0001
2447108.0692	II	- 0.0006
2447148.0287	I	+ 0.0002

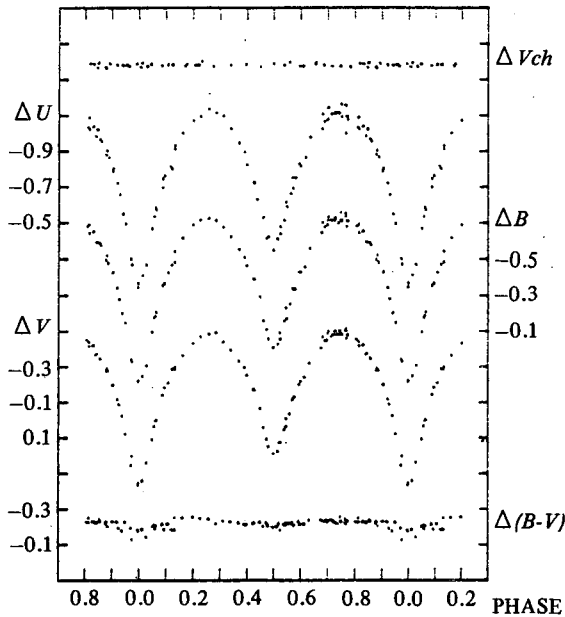


그림 1. 1988년에 관측한 SW Lac의 UBВ 광도곡선과 color 곡선

Kwee와 van Woerden(1956)의 방법으로 결정하여 표 II에 수록하였다. 표 II에 수록한 $O-C$ 의 값은 (1)식의 광도요소로 계산하였다.

°SW Lac의 공전 주기 변화 연구는 여러 연구자(Bookmyer 1965, Van't Veer 1972, Frosinka와 Kreiner 1977)들에 의하여 수행되었는데, 그 중에서 주목할 만한 것은 Faulkner와 Bookmyer(1980)의 연구이다. 그들은 1952년부터 1978년까지 관측되어 발표된 여러 극심시각을 수집하여 1959년에 약 0.6초의 주기 증가를, 1969년경에는 약 0.8초의 주기 감소가 있었다고 발표하였다. 그들이 제시한 $O-C$ 도를 살펴보면 1969년과 1978년 사이에 관측된 극심시각들의 $O-C$ 값은 약간의 요동은 있지만 일정한 주기로 표시될 수 있음을 유추할 수 있다. 우리가 관측한 극심시각도 대체로 이 주기를 따르는 것을 점정할 수 있었으나 그 주기를 계산하지는 않았다. 이 논문에서 SW Lac의 궤도공전주기 변화에 대한 자세한 연구는 시도하지 않았으나 계속 극심시각 관측이 필요하며 그에 따른 분석이 요망된다.

참고문헌

- Binnendijk, L. 1984, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **96**, 646.
 Bookmyer, B. B. 1965, *Astron. J.*, **70**, 415.
 Chou, K. C. 1963, *Astron. J.*, **68**, 5.
 Faulkner, D. R. and Bookmyer, B. B. 1980, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **92**, 92.
 Frosinka, Z. and Kreiner, J. 1977, *Inf. Bull. Var. Stars*, No. 1503.
 Han, W. Y. 1984, *J. Astron. Space Sci.*, **1**, 41.
 Han, W. Y. and Kim, T. H. 1988, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, in press.
 Jameson, R. F. and Akinci, R. 1979, *Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*, **188**, 421.
 Johnson, H. L. 1963, *Basic Astronomical Data*, ed by K. Aa. Strand (Chicago: Univ. Chicago), **9**, 204.
 Kwee, K. K. and van Woerden, H. 1956, *Bull. Astron. Inst. Neth.*, **12**, 327.
 Leavitt, H. S. 1918, *Harvard Circ.*, No. 207.
 Leung, K. C., Zhai, D. and Zhang, R. 1984, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **96**, 634.
 Niarchos, P. G. 1987, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **67**, 365.
 Roman, N. 1956, *Astrophys. J.*, **123**, 246.
 Rucinski, S. M. 1968, *Acta Astron.*, **18**, 49.
 Van't Veer, F. 1972, *Astron. and Astrophys.*, **20**, 131.