

근접 식쌍성 SW LYNCIS의 광도곡선 분석

김 호 일 · 한 원 용 · 이 우 백

한국표준과학연구원 천문대

김 천 휘

충북대학교 천문우주학과

LIGHT CURVE ANALYSIS OF A SHORT PERIOD ECLIPSING BINARY SW LYNCIS

Ho-Il Kim, Wonyong Han, Woo-Baik Lee

Korea Astronomy Observatory, Taejon, 305-348, Korea

Chun-Hwey Kim

Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

e-mail: hikim@hanul.issa.re.kr, whan@hanul.issa.re.kr, kimch@astro.chungbuk.ac.kr

(Received October 23, 1995; Accepted November 16, 1995)

요 약

소백산천문대의 61cm 망원경을 사용하여 식쌍성 SW Lyn에 대한 *UBV*관측을 1983년 9월부터 1987년 3월까지 7일밤 동안 수행하여 광도곡선을 얻었다. 이 광도곡선은 부극심을 중심으로 좌우가 비대칭이며 그 정도는 파장이 짧을수록 심한 것으로 나타났다. 비대칭 광도변화를 만드는 원인을 흑점이라고 가정하고, 우리의 광도곡선 중에서 *B*와 *V* 광도곡선을 WD 방법으로 분석하여 해를 얻었다. 그 결과 SW Lyn이 접촉에 가까운 준접촉계임이 밝혀졌으며 Case A 진화를 하는 것으로 보인다.

ABSTRACT

The *UBV* light curves of a close eclipsing binary SW Lyn were obtained with the observations made at the Sobaeksan Astronomy Observatory during 7 nights from September 1983 to March 1987. These light curves show asymmetry to the secondary minimum light and the asymmetry is larger at the shorter wavelength light curve. Assuming that the star spot makes the asymmetry, we employed the WD code to make the *B* and *V* light curves solution. We confirmed that SW Lyn has near contact (semi-detached) Roche configuration and has the Case A evolution.

1. 서 론

단주기 근접쌍성인 SW Lyn(BD+42°1811)은 공전주기가 0.6일이고 주성의 분광형이 F2이며 최대 밝기일 때의 안시등급은 9.2등급으로 최소밝기일 때와 약 0.7등급의 차이를 갖는다. 이 쌍성은 Kippenhahn (1955)이 탐색용 사진건판을 분석하는 중에 처음 발견되었다. Strohmeier (Gleim 1967)는 사진광도곡선을 완성하고 해를 구하였으며, 광전측광에 의한 광도곡선은 Gleim (1967)에 의해 처음 완성되어 해가 구해졌다. Gleim (1967)은 이 광도곡선을 Russell-Merrill의 방법으로 분석하고 β Lyr형으로 분류하였는데 이것은 이전의 연구자들이 사진광도곡선을 분석하여 Algol 형으로 분류한 것과 대조를 이루고 있다. Vetesnik (1977)은 시선속도곡선을 완성하고 이 쌍성계가 이심률이 0.11인 타원궤도를 갖는다고 발표하였다.

한편, Predolin *et al.* (1980)이 Wood의 방법으로 광도곡선을 분석한 결과는 접촉형 쌍성계로 나타났으며, Kaluzny (1985)는 Wilson-Devinney(이후 WD라 함) 방법으로 분석한 결과, 원궤도를 갖는 분리형 혹은 준분리형이라고 결론 지었다. 또한 Shaw (1990)는 이 쌍성계를 근접촉형으로 분류하였다. 이로서 이 쌍성계는 쌍성계가 가질 수 있는 모든 유형의 로쉬모형을 갖게 되어 논란의 대상이 되었다. 따라서 새로운 광전측광 관측을 통하여 광도곡선을 만들고, 보다 진보된 분석기법을 도입하여 광도곡선을 분석하여 이 쌍성계의 로쉬모형을 검증할 필요성이 제기되었다.

2. 관측과 광도곡선

소백산천문대의 61cm 망원경과 드라이아이스로 냉각되는 1P21 광전증배관 그리고 표준 UBV 필터 등이 SW Lyn 관측에 사용되었으며 관측자료는 두루말이 기록지에 기록되었다. 사용한 비교성과 검토폭은 각각 BD+42°1816과 BD+42°1814이며, 비교성의 관측으로 매일 밤의 대기감광계수를 구하여 투과대기량을 보정하였다. 사용한 관측기기와 관측자료 처리 방법은 한원용 (1984)이 자세히 설명한 바 있다. 관측자료는 UBV 에서 각각 104, 175, 174점으로 그림 1에서 보는 바와 같이 전 위상에 걸쳐 분포하고 있다. 그림 1의 광도곡선을 자세히 보면 부극심을 중심으로 좌우가 약간의 비대칭을 이루고 있음을 알 수 있는데 그 정도는 U 에서 가장 크며, V 에서 가장 작은 것을 알 수 있다. 이러한 비대칭 현상은 다른 관측자들의 광도곡선에서도 나타나고 있으나, 그 원인은 아직 확실히 밝혀져 있지 않다. 다만, 비대칭 광도변화 양상과 이 쌍성계의 분광형이 RS CVn형의 일반적 특성과 유사하므로 별표면의 흑점에 의한 것으로 간주되고 있다.

3. 광도곡선의 분석

관측된 UBV 광도곡선 중에서 관측오차가 가장 크고 관측점이 적은 U 광도곡선을 제외한 B 와 V 광도곡선만을 분석 대상으로 택하였다. 광도곡선을 분석하는 방법으로는 최근에 개정된 WD방법 (Wilson 1993)을 사용하였다. 개정된 WD방법은 기존의 WD방법에 복수반사효과, 지

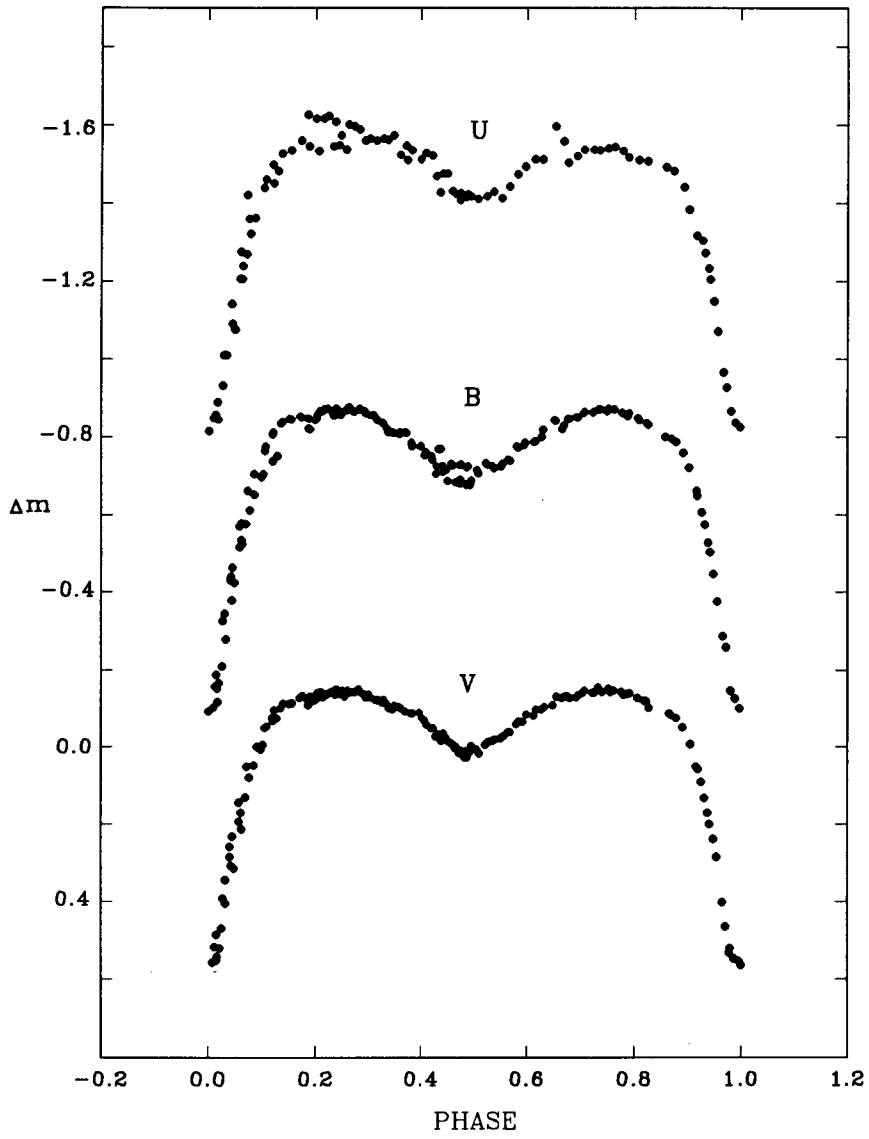


그림 1. SW Lyn의 *UBV* 광도곡선. 부극심을 중심으로 좌우가 비대칭이며 그 정도는 짧은 파장일수록 심하다.

표 1. SW Lyn의 대표점.

위상	Δmb	l_b	위상	Δmv	l_v
0.0111	-0.1300	0.5057	0.0115	0.5423	0.5295
0.0163	-0.1530	0.5165	0.0197	0.5045	0.5483
0.0246	-0.2340	0.5565	0.0305	0.3803	0.6147
0.0326	-0.3115	0.5977	0.0438	0.2792	0.6747
0.0447	-0.4278	0.6653	0.0595	0.1805	0.7389
0.0610	-0.5448	0.7410	0.0726	0.0873	0.8052
0.0738	-0.6160	0.7912	0.0910	0.0187	0.8577
0.0862	-0.6785	0.8381	0.1055	-0.0353	0.9014
0.1041	-0.7350	0.8828	0.1229	-0.0790	0.9384
0.1213	-0.7860	0.9253	0.1379	-0.1075	0.9634
0.1352	-0.8083	0.9445	0.1532	-0.1140	0.9692
0.1536	-0.8455	0.9774	0.1794	-0.1243	0.9784
0.1734	-0.8520	0.9833	0.1959	-0.1245	0.9786
0.1883	-0.8343	0.9673	0.2123	-0.1373	0.9902
0.2037	-0.8543	0.9853	0.2278	-0.1395	0.9922
0.2185	-0.8710	1.0006	0.2410	-0.1423	0.9948
0.2352	-0.8648	0.9949	0.2566	-0.1420	0.9945
0.2437	-0.8630	0.9933	0.2726	-0.1445	0.9968
0.2599	-0.8708	1.0004	0.2929	-0.1370	0.9899
0.2730	-0.8698	0.9995	0.3149	-0.1238	0.9780
0.2933	-0.8645	0.9947	0.3371	-0.1093	0.9650
0.3168	-0.8465	0.9783	0.3596	-0.1023	0.9588
0.3370	-0.8205	0.9552	0.3909	-0.0858	0.9443
0.3597	-0.8108	0.9466	0.4153	-0.0560	0.9188
0.3837	-0.7865	0.9257	0.4346	-0.0225	0.8908
0.4099	-0.7603	0.9036	0.4459	-0.0250	0.8929
0.4293	-0.7350	0.8828	0.4627	-0.0028	0.8748
0.4426	-0.7298	0.8786	0.4747	0.0140	0.8614
0.4588	-0.7070	0.8604	0.4865	0.0195	0.8570
0.4722	-0.6958	0.8515	0.4976	0.0073	0.8667
0.4834	-0.7015	0.8560	0.5230	-0.0030	0.8750
0.4957	-0.7008	0.8554	0.5527	-0.0260	0.8937
0.5232	-0.7230	0.8731	0.5817	-0.0578	0.9203
0.5524	-0.7295	0.8784	0.6102	-0.0883	0.9465
0.5820	-0.7668	0.9090	0.6410	-0.1115	0.9669
0.6140	-0.7905	0.9291	0.6730	-0.1300	0.9836
0.6510	-0.8308	0.9642	0.7005	-0.1383	0.9911
0.6798	-0.8440	0.9761	0.7307	-0.1455	0.9977
0.7081	-0.8603	0.9908	0.7572	-0.1477	0.9997
0.7370	-0.8688	0.9986	0.7841	-0.1395	0.9922
0.7681	-0.8678	0.9977	0.8193	-0.1185	0.9732
0.7994	-0.8518	0.9831	0.8719	-0.0827	0.9416
0.8370	-0.8227	0.9571	0.8985	-0.0285	0.8958
0.8749	-0.7910	0.9296	0.9184	0.0550	0.8295
0.8983	-0.7400	0.8869	0.9289	0.1115	0.7874
0.9184	-0.6550	0.8201	0.9400	0.1860	0.7352
0.9301	-0.5900	0.7725	0.9518	0.2620	0.6855
0.9409	-0.5155	0.7212	0.9687	0.4330	0.5856
0.9494	-0.4470	0.6771	0.9793	0.5265	0.5373
0.9615	-0.3315	0.6088	0.9880	0.5470	0.5272
0.9771	-0.2020	0.5404	0.9988	0.5585	0.5217
0.9894	-0.1270	0.5043			
0.9998	-0.0980	0.4910			

수형 주변감광계수 등을 추가하고, 흑점의 위치와 개수의 제한을 완화한 것이다. 관측자료는 표 1에 제시한 바와 같이 B 와 V 에서 각각 53개와 51개의 대표점으로 만들어져 WD의 입력자료로 사용하였다. 차등미분보정 과정을 위한 초기치 가운데 $T_1, A_{1,2}, g_{1,2}, X_{1,2}$ 등은 이론적인 값들을 사용하였는데 이 값들은 각각 $T_1 = 7040K, g_1 = 1.0, g_2 = 0.32, A_1 = 1.0, A_2 = 0.5$ 이고 주변감광계수는 선형의 경우 $X_1(V) = 0.497, X_2(V) = 0.801, X_1(B) = 0.606, X_2(B) = 0.952$ 이며 지수형의 경우 $X_1(V) = 0.691, Y_1(V) = 0.209, X_2(V) = 0.804, Y_2(V) = 0.005, X_1(B) = 0.790, Y_1(B) = 0.276, X_2(B) = 0.846, Y_2(B) = -0.160$ 이다. 또한 볼로메트릭 감광계수는 $X_1 = 0.639, Y_1 = 0.255, X_2 = 0.626, Y_2 = 0.149$ 이다. 선형 및 지수형 주변감광계수와 복수반사효과 계산시 필요한 볼로메트릭 감광계수는 Van Hamme (1993)의 것을 사용하였다. 나머지 인자들은 Gleim (1967), Shaw (1990) 등의 값을 사용하였다.

한편, SW Lyn의 공전주기가 제 3 체에 의한 영향으로 주기적으로 변화하고 있다(김천휘 등 1990)는 발표가 있으나 정확한 검증이 이루어지지 않은 상태이므로 우리의 계산에서는 제3체에 의한 광도는 고려하지 않았다. 우리는 먼저, SW Lyn이 분리형 쌍성이라고 가정하고 계산을 시작하였으나 반성의 반경이 로쉬한계로 수렴되는 것을 발견하고 준분리형을 위한 모드로 전환하였다. 이 과정에서 선형주변감광계수를 사용하였으며, 반복반사효과는 고려하지 않았다. 준분리계 모드로 전환한 후에는 선형과 지수형 주변감광계수를 사용하므로서 발생하는 결과의 차이, 그리고 일반적인 반사효과와 반복반사효과를 채택하는 경우의 결과 차이 등을 알아보기 위하여 각각의 경우에 대하여 계산을 시도하였다. 하지만 어느 경우에도 눈에 보이는 차이는 나타나지 않았으며, 비대칭인 광도곡선을 만족하는 해는 얻을 수 없어서 흑점을 도입하였다. 이 과정의 계산은 지수감광계수를 사용하여 얻은 결과에 흑점 인자들만을 보정인자로 하였다. 계산 결과는 표 2에 정리하였는데 여기서 첫번째 해는 선형감광계수를, 두번째 해는 지수형감광계수를 사용하여 얻은 것이고 세번째는 지수형감광계수와 복수반사효과를 고려한 것이다. 또한 네번째 해는 지수형 감광계수와 흑점을 함께 사용하여 얻은 결과인데 이 때 흑점은 주성 표면에 있는 것으로 하였다. 이 표에서 보듯이 $\Sigma(O - C)^2$ 는 네번째 해에서 가장 작았다. 그림 2는 계산에 사용한 관측대표점과 표 2의 4번째 해로 계산한 이론적인 광도곡선을 중첩하여 그린 것이다.

4. 토의 및 결론

소백산천문대에서 관측된 SW Lyn의 B 와 V 광도곡선을 WD방법으로 분석한 결과 이 쌍성계는 접촉형에 가까운 준분리형으로 분류되는 것이 적합한 것으로 보인다. 지금까지 이 쌍성계는 분리형, 준분리형, 접촉형 등으로 분류되어 왔으며 이 중 가장 최근의 연구인 Shaw (1990)의 결과는 우리의 결과와 일치하는 것이므로 근접촉형 쌍성으로 분류하는데 무리가 없어 보인다. 광도곡선을 분석하는 과정에서 선형 및 지수형 주변감광계수를 적용하여 보았으나 어느 경우를 적용하여도 얻어진 해에 근본적인 변화는 보이지 않았다. 다만 지수형 감광계수를 사용하였을 경우에 관측점을 보다 잘 만족시키는 결과를 얻을 수 있었으므로 향후 WD 사용시에는 지수형을 사용하

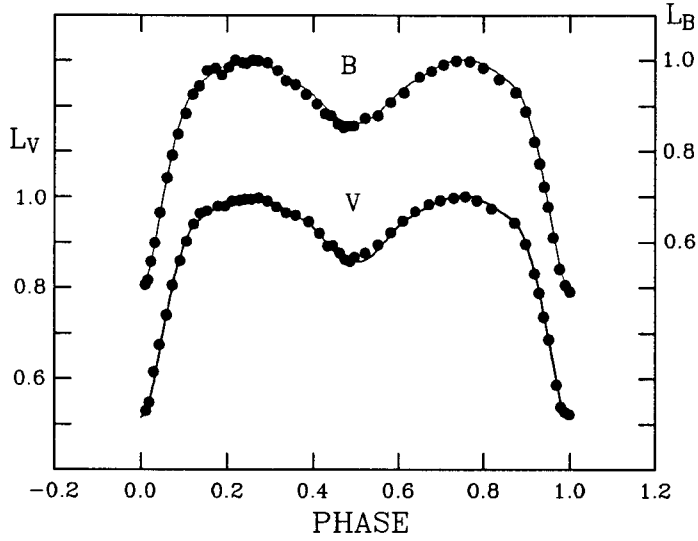


그림 2. SW Lyn의 B와 V 광도곡선의 대표점(속찬원)과 합성광도곡선(실선).

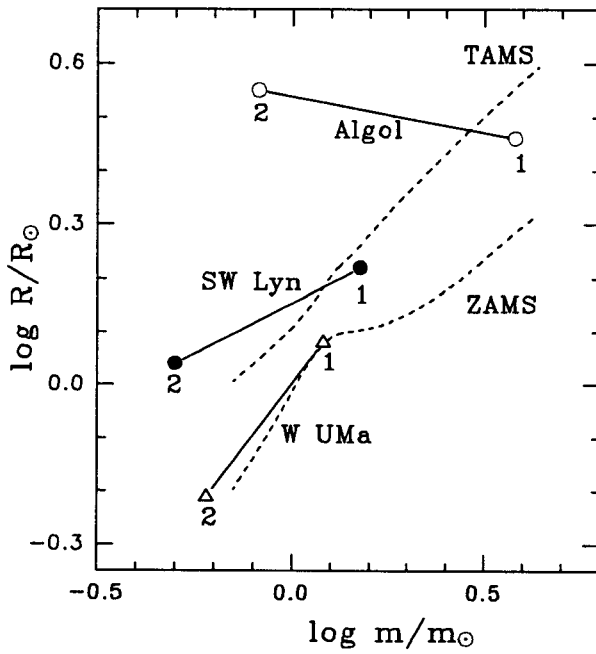


그림 3. SW Lyn의 질량-반경도.

표 2. SW Lyn 광도곡선의 해

	1	2	3	4
i	81°272	82°185	82°307	82°185
	±0.110	±0.078	±0.080	-
T_2	0.4401	0.4406	0.4375	0.4406
	±0.0038	±0.0036	±0.0036	-
Ω_1	2.8441	2.7985	2.7865	2.7985
	±0.0140	±0.0060	±0.0082	-
Ω_2	2.5515	2.5126	2.5126	2.5126
q	0.3393	0.3212	0.3212	0.3212
	±0.0061	±0.0022	-	-
$L(B)_1$	0.96	0.96	0.96	0.96
	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01
$L(B)_2$	0.04	0.04	0.04	0.04
$L(V)_1$	0.94	0.94	0.94	0.94
	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01
$L(V)_2$	±0.06	0.06	0.06	0.06
$\Sigma(O - C)^2$	0.03469	0.03327	0.03364	0.03259
$R_1(\text{side})$	0.414	0.419	0.421	0.419
	±0.003	±0.003	±0.003	±0.003
$R_2(\text{side})$	0.281	0.277	0.277	0.277
	latitude	longitude	radius	temperature
	130°	220°	6.8	6000K
	±18°	±10°	±1.1	

1. 선형감광계수 사용 2. 지수형 감광계수 사용
 3. 2+복수 반사효과 4. 2+흑점

는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 반사효과를 적용함에 있어서 단순 반사효과와 복수 반사효과를 사용하였지만 이것이 해에 미치는 영향은 미미한 것이었다.

이 쌍성계의 주성의 분광형은 F2V로 밝혀져 있으므로 주성의 질량을 F2V별의 평균 질량인 $1.5M_{\odot}$ 으로 가정하면 반성의 질량은 $0.48M_{\odot}$ 가 되고, 케플러 법칙을 이용하면 두 별 사이의 거리는 $3.9R_{\odot}$ 가 된다. 따라서 주성과 반성의 반경은 각각 $1.65R_{\odot}$ 와 $1.10R_{\odot}$ 가 된다. 이것을 질량-광도관계로 그리면 그림 3과 같이 된다. 그림 3에서는 SW Lyn과 더불어 Algol (Kim 1989)과 W UMa의 질량-반경을 표시하였는데 여기서 1과 2는 각각 주성과 반성을 의미한다. 또한 점선으로 표시한 영년주계열과 중년주계열은 Menzel et al. (1979)의 항성진화모형에서 $Y = 0.20$, $Z = 0.01$ 인 것을 선택하여 그린 것이다. 이 그림에서 보듯이 SW Lyn의 주성은 주계열성에 그리고 반성은 준거성에 속하고 있으나 이 둘을 잇는 직선의 기울기는 Algol과는 매우 다르게 나타나고 있는데 이것은 SW Lyn이 Case A 진화를 하고 있는 것을 의미한다고 할 수 있다.

참고문헌

- 김천휘 1990, 5개의 근접쌍성의 광도곡선 분석 연구(I), 과학기술처
한원용 1984, 한국우주과학회지, 1, 41
Gleim, J. K. 1967, AJ, 72, 493
Kaluzny, J. 1985, AA, 35, 327
Kim, H.-I. 1989, ApJ, 342, 1061
Kippenhahn, R. 1955, AN, 282, 76
Menzel, J. G., Sweigart, A. V., Demarque, P. & Gross, P. G. 1979, ApJS, 40, 733
Predolin, F., Giuricin, G. & Mardirosian, F. 1980, IBVS 1801
Shaw, J. S. 1990, in Active Close Binaries ed. by C. Ibanoglu (Kluwer Academic Publishers:
Netherlands), p.241
Van Hamme, W. 1993, AJ, 106, 2096
Vetesnik, M. 1977, BAC, 28, 120
Wilson, R. E. 1993, private communication