

RS CVn형 쌍성 SZ Psc의 흑점 모델

강영운
세종대학교 지구과학과

STARSPOT MODEL OF RS CVn TYPE BINARY SZ PSC

Young Woon Kang
Dept. of Earth Sciences, Sejong University, Seoul 143-747, Korea
email: kangyw@sejong.ac.kr

(Received October 15, 2000; Accepted November 15, 2000)

요 약

RS CVn형 쌍성 SZ Psc의 광도곡선에 나타난 뒤틀림 현상을 규명하기 위하여 자외선 영역의 방출선과 가시광선 영역의 광도곡선을 분석하였다. 자외선 영역에서 IUE 고분산 분광선 중에서 Mg II 방출선의 강도를 조사하여, 채층 활동은 주로 K1 IV 별에서 일어나고 있는 것을 확인하였다. 한편, 가시광선 영역에서 나타난 광도 곡선의 뒤틀림 현상은 K1 IV별에 흑점이 존재하는 흑점 모델을 이용하여 분석한 결과 SZ Psc의 뒤틀린 광도 곡선을 잘 설명할 수 있었다. 그 결과 SZ Psc에 대한 완전한 측광학적인 해를 최초로 제시하였다.

ABSTRACT

The emission lines of the ultraviolet region and the light curves of the optical region have been analyzed to investigate the distorted light curves of SZ Psc. The Mg II emission lines of the IUE spectra confirmed that the chromospheric activity of SZ Psc occurs on the K1 IV star. The distorted light curves in the optical region have been analyzed by the spot model where the spots are on the K1 IV star as the result of the chromospheric activity. The complete photometric solution could be deduced for SZ Psc by the good fitness with the spot model.

Key words: stars, satellite, communication

1. 서 론

근접 쌍성의 구성원들은 서로가 조석력으로 강하게 묶여 공전하므로 별의 자전은 상대적으로 매우 빠르다. 일반적으로 태양같은 별은 자전 주기가 약 1 달이 되지만 근접 쌍성인 경우 공전 주기가 수 시간에서 수 일 정도이다. 대부분의 근접 쌍성은 공전 주기와 자전 주기가 같은 동주기 자전을 하므로, 자전 속도가 single star보다 매우 빠르다. 그러므로 대류층이 형성되어 있는 근접쌍성에서는 강한 자기장 활동이 유발되어 채층 활동이 활발하다. 그 결과 별 표면에는 흑점이 형성되고, 가시광

선 영역의 광도 곡선은 비대칭을 이루거나 식 바깥부근에서 광도 변화가 있는 물결 모양의 광도 곡선을 형성한다.

근접 쌍성중에서 채층 활동이 강할 것이라고 예상되는 별들은 W UMa형, 알골형, RS CVn형, BY Dra형, 격변변광성 등이다. 특히, RS CVn형은 채층 활동이 강한 대표적인 별로써 공전 주기가 1-2 일이며, 분광형이 G-K형이고, 광도 계급은 준거성 (IV)이 대부분이다. 이 별들은 채층활동의 결과로 별 표면에 흑점을 가지고 있는 분리형 쌍성이다. 이들 RS CVn형 별들은 $L_x = 10^{29} - 10^{32}$ ergs/sec의 soft x-선을 방출하고 있다. 자외선 영역에서는 Mg II *h* & *k*, C IV 방출선 등이 강하게 나타난다는 사실이 밝혀졌다. 그러므로 이 방출선들은 채층 활동을 조사하는 좋은 지침으로 사용되고 있다.

SZ Psc은 가장 전형적인 RS CVn형 쌍성중의 하나로 (Jakate et al. 1976) 알려졌다며, 주기 변화 또한 극심한 것으로 보고되었다. SZ Psc이 RS CVn형으로 분류되기 이전에는 Jensch (1934)가 최초로 SZ Psc의 변광을 보고하고 광도 요소를 구하였다. 그 후 측광학적으로는 Bakos & Heard (1958), Jakate (1979) 등이 관측하여 광도 곡선을 구하였다. 분광학적으로는 Bakos & Heard (1958)가 식 바깥 부분에서 채층 활동과 관계되는 스펙트럼선을 분석하였다. Jakate et al. (1976)은 당시까지 발표된 광도 곡선을 수집하여 Russell & Merrill (1952)의 방법으로 SZ Psc의 해를 구하였으나 distorted된 광도 곡선 때문에 완전한 해를 구하지 못하고 한정적인 해를 구하였다.

SZ Psc이 RS CVn형으로 분류된 후에는 광도 곡선의 변화 요인이 집중적으로 연구되었다. Eaton & Hall (1979)은 흑점 모델을 사용하여 SZ Psc의 광도 곡선을 분석하여 물결 모양의 광도 곡선은 약 4년의 주기성이 있다고 결론지었다. Tunca (1984)는 1981년도 관측을 이용하여 식 바깥 부분에서의 광도 변화가 *B*와 *V* 광도 곡선에서 각각 0.^m181과, 0.^m213으로 나타났다고 보고 하였다. Walter & Bowyer (1981)는 SZ Psc으로부터 thermal X-선 방출을 아인슈타인 위성을 사용하여 관측하였다. 자외선 영역에서는 Doyle et al. (1994)이 IUE인공위성을 사용하여 SZ Psc을 분광관측하였다. 이 분광 관측 도중에 1990년 7월 6일 관측은 UV초과가 매우 심하게 나타나, 이 현상을 플레어에 의한 UV초과로 보고하였다. 이 플레어는 90분 노출시간동안 4.5×10^{36} ergs의 에너지를 방출한 것으로 계산되었다.

이 논문에서는 RS CVn형 별로 알려진 SZ Psc을 측광 및 분광 관측 결과를 분석하여 이 계에 대하여 흑점 모델을 제시하려한다. 그러므로 제 2장에서는 IUE 고분산 분광선을 이용하여 SZ Psc의 채층활동을 조사하여, 두 성분 별 중에서 채층 활동이 활발한 성분 별을 결정하고, 제 3장에서는 채층 활동이 활발한 별에 흑점이 존재한다는 가정을 기초로 흑점 모델을 이용하여 이미 발표된 광도 곡선의 해를 구한다. 제 4장에서는 SZ Psc의 절대량을 구하여 통계적인 방법으로 SZ Psc의 해를 검증하고 진화에 대하여 논한다.

2. SZ Psc의 채층 활동

RS CVn형 별의 광도 곡선이 뒤틀리는 현상은, 별 표면의 밝기가 불규칙하기 때문에 나타나는 자체 변광으로 알려져 있다. 표면 밝기의 불규칙성은 강한 자기활동 결과로 나타나는 흑점, 혹은 플라퀴 등의 영향 때문에 나타나는 것이다. 이러한 별들은 채층 활동이 강하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 채층활동의 결과는 자외선 영역에서 나타나므로 자외선 영역에서 관측된 분광 자료를 분석하는 일은 채층활동뿐만 아니라 RS CVn형인 SZ Psc의 자체 변광을 설명하는데도 중요한 역할을 할

표 1. 위상에 따른 Mg II *h* & *k* 방출선의 최대 플럭스와 연속선의 비율.

IUE Image	위상	f_k/f_c	f_h/f_c	IUE Image	위상	f_k/f_c	f_h/f_c
lwp18299	0.0409	12.5	10.8	lwp26572	0.4981	9.2	8.0
lwp18365	0.7998	14.2	13.2	lwp26573	0.5261	8.5	9.6
lwp18384	0.8058	12.8	9.1	lwp26574	0.5540	8.7	10.9
lwp18415	0.7950	11.6	10.4	lwp26593	0.4819	8.5	7.3
lwp18441	0.8240	12.0	11.6	lwp26594	0.5119	9.2	8.7
lwp18466	0.8328	12.8	9.1	lwp26595	0.5410	11.1	9.8
lwp20902	0.7424	11.6	10.5	lwp26596	0.5704	10.9	10.1
lwp20908	0.9517	12.2	11.5	lwp26601	0.7146	11.2	10.2
lwp20920	0.4972	6.5	5.5	lwp26602	0.7427	10.9	9.7
lwp26571	0.4701	10.3	8.2				

것이다.

채층활동은 온도가 $10^4\text{K} - 10^5\text{K}$ 인 범위에서 나타나기 때문에 IUE 파장 영역 ($2000 - 3000 \text{ \AA}$)에서 나타나는 방출선으로 채층활동의 유무 및 활동의 강도를 유추할 수 있다. SZ Psc에 대한 IUE Archive spectra를 조사한 결과 주로 긴 파장 영역에서 ($2000 - 3000 \text{ \AA}$) 관측이 많이 수행되었다. 채층활동의 지침으로 널리 알려진 방출선중에서 IUE 긴 파장영역에서 나타나는 대표적인 방출선은 Mg II 방출선이므로 1990년과 1991년 사이에 관측된 고분산 스펙트럼을 분석의 대상으로 선정하였다.

선정된 20개의 고분산 스펙트럼에서 Mg II *h* & *k* 방출선의 세기를 비교하기 위하여, 방출선의 최대 플럭스와 연속선의 평균 플럭스의 비, 즉 f_{mg}/f_c 를 구하여 방출선의 세기를 표 1에 수록하였다. Mg II *k* 방출선의 세기는 위상 $0.^\circ 5$ 인 제 2극심에서 최소로 나타나며 식에서 벗어남에 따라 방출선의 세기는 증가하고 위상 $0.^\circ 8$ 에서 최대값을 보였다. 그림 1에서는 위상에 따른 방출선의 세기 변화를 나타내기 위하여 대표적인 4개의 Mg II 분광선을 선택하여 비교하였다. 하단의 방출선은 채층활동이 없거나, 매우 약한 상태인 반면에 상단으로 올라 갈수록 방출선의 세기가 증가하여 채층활동이 매우 강한 것을 알 수 있다. 또한 방출선의 세기가 공전궤도 위상과의 상관 관계를 알아보기 위하여 f_{mg}/f_c 를 공전궤도 위상에 대하여 그림 2와 3에 그렸다.

Mg II *h* & *k* 방출선은 공전궤도 위상에 따라서 크게 변하는 것으로 나타났다. 그림 2와 3에서 보는바와 같이 위상이 $0.^\circ 5$ 부근에서 방출선의 세기가 약해서 채층활동이 거의 없는 시기 (quiescent period)로 추정하며, 식에서 벗어남에 따라 방출선의 세기는 점점 증가하여 위상이 $0.^\circ 8$ 부근에서 최대가 되었다. 이는 주성보다는 분광형이 만기형인 반성, 즉 반경이 크고 온도가 낮은 K1 IV 별에 흑점이 존재하고 있음을 뜻하는 것이다. 이러한 현상은 방출선 *h*와 *k* 모두에서 나타났다. 특히 그림 2와 3에는 나타나지 않았지만 표 1에 수록된 lwp 18299 스펙트럼은 주극심이 일어나고 있는 위상인 $0.^\circ 0$ 부근에서 관측된 것이고, 이 때의 방출선은 최대 값을 나타내는 방출선과 비슷한 수준으로 강하게 나타났다. 그러므로 채층 활동은 주로 반성인 K IV 별에서 일어나고 있음을 알 수 있다.

3. SZ Psc의 흑점모델

SZ Psc에 대한 측광 관측은 Eaton et al. (1982) 및 Tunca (1984)가 수행하여 광도 곡선을 완성하였다. Eaton et al. (1982)은 Russell & Merrill (1952)의 고전적인 방법으로 해를 구하였고, Tunca

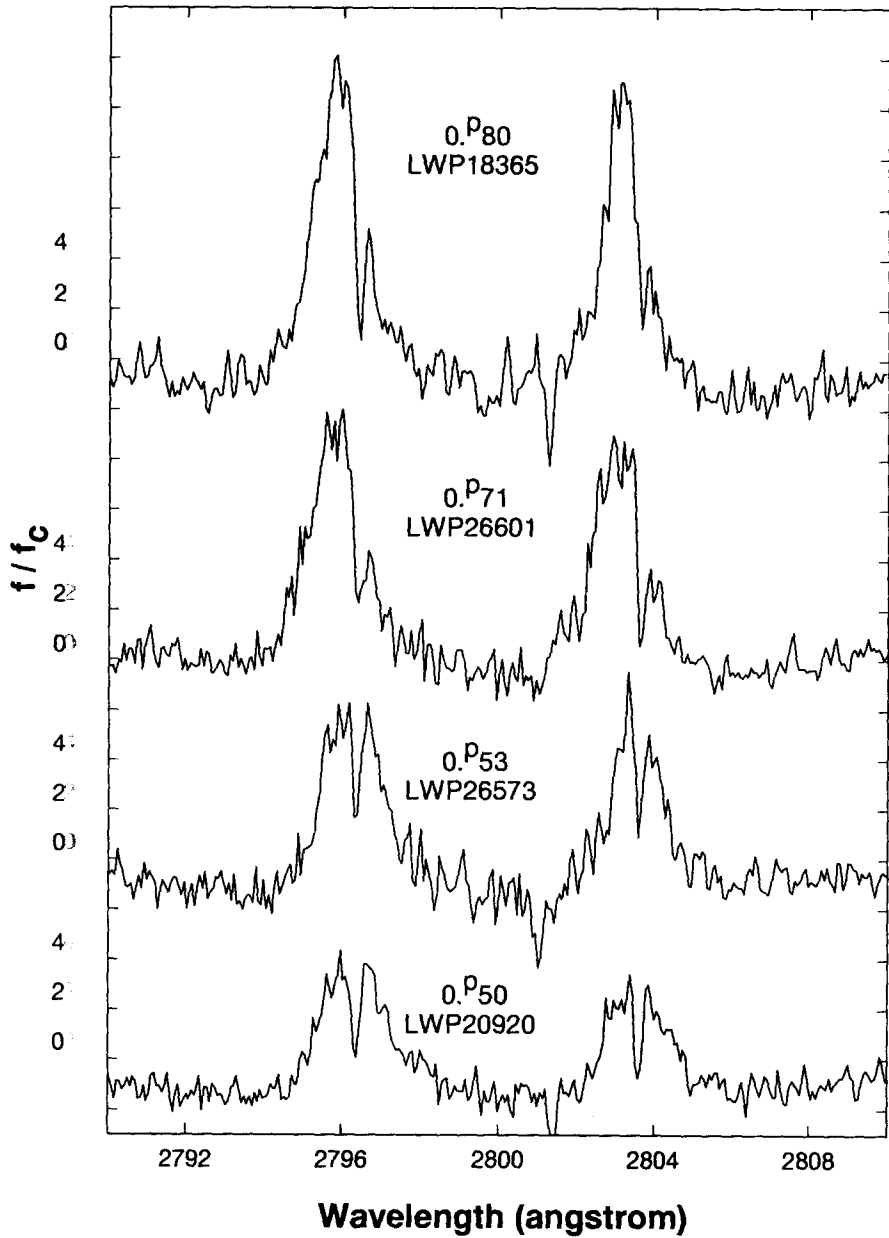


그림 1. SZ Psc의 Mg II 방출선. 위상에 따른 방출선의 세기 변화를 나타내기 위하여 대표적인 4개의 분광선을 선택하여 비교하였다. 하단의 방출선은 채층활동이 없거나, 매우 약한 상태인 반면에 상단으로 올라 갈수록 방출선의 세기가 증가하여 채층활동이 매우 강한 것을 알 수 있다.

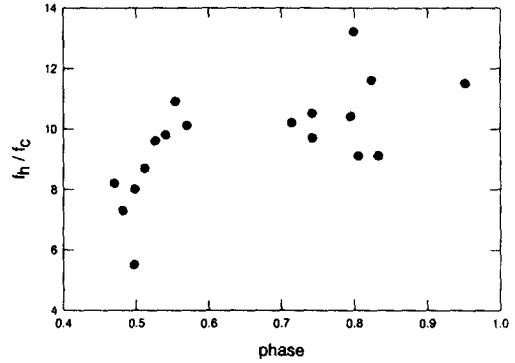
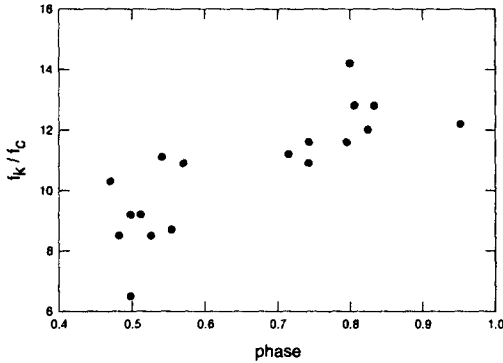


그림 2. 공전궤도위상에 따른 SZ Psc의 Mg II k 방출선. 그림 3. 공전궤도위상에 따른 SZ Psc의 Mg II h 방출선
 제2극심인 0.75부근에서는 방출선의 세기가 약하고 Mg II k 방출선과 마찬가지로 방출선의 세기가 식에서
 식에서 벗어남에 따라 세기가 강해져서 0.78부근에서 벗어남에 따라 세기가 강해져서 0.78부근에서 최대가
 최대가 된다. 이는 반성 즉 K IV 별에 흑점이 있음을 나타낸다

(1984)는 WINK 모델을 사용하여 해를 구하였다. 그러나 이들의 해는 광도 곡선이 물결 모양으로 뒤
 틀리는 부분을 정량적으로 분석하는 수준까지는 도달하지 못하였다. 특히 SZ Psc은 광도 곡선의 변
 화가 각 계절마다 심하게 나타나는 것으로 보고 되어있다. 위의 두 그룹이 보고한 광도 곡선중에서
 Tunca의 광도 곡선이 RS CVn의 특징을 가장 잘 대표할 수 있도록 나타났다. 그러므로 이 논문에서
 는 Tunca의 광도 곡선을 선정하여 집중적으로 분석하였다.

Tunca의 광도 곡선은 물결 모양의 뒤틀림이 위상 0.781에서 최대 광도를 나타내고, 위상 0.746에
 서 최소 광도를 나타낸다. 이것은 RS CVn형 별에서 나타나는 전형적인 광도의 변화이다. 이러한 광
 도 변화의 원인으로 별 표면 온도의 불규칙한 분포, 즉 흑점의 영향으로 이해되는것이 최근의 추세이
 다. 별 표면의 흑점 모델은 최초로 Kron (1947)이 AR Lac의 광도 곡선에서 불규칙하게 광도가 변화
 하는 것을 설명하기 위하여 도입되었다. 그후 Eaton & Hall (1979), Vogt (1982) 등이 흑점 모델 계
 산을 시도하였다. Kang & Wilson (1989)은 Wilson과 Devinney (WD, 1971)의 차등보정법을 수정하
 여, 종합적인 흑점 모델을 제시하였다. 이 모델은 쌍성계를 이루고 있는 기본적인 물리인자는 물론
 별자체의 변광 요인이 되는 흑점인자를 차등보정법으로 구할 수 있는 것이다. 이 논문에서는 1993년
 에 발표된 WD program을 사용하여 광도곡선을 분석하였다. 1993년도 WD Program은 흑점인자와
 다중반사효과 인자까지도 차등보정법으로 보정 가능한 program이다. 제 2장에서 분석한 IUE 분광
 선들은 1990, 1991년도에 관측된 것이고, 광도 곡선은 1981년도에 관측한 것이다. 두 관측이 같은 시
 기에 관측된 것은 아니므로 자외선 영역의 채층활동과 가시광선 영역의 광도변화의 상관관계는 유
 추할 수 없다. 그러나 반성인 K1 IV 별에서 활발한 채층 활동이 나타나는 것이 확인 되었으므로, K1
 IV 별에 흑점의 존재를 가정한 흑점 모델을 적용하여 광도곡선의 해를 구하였다. SZ Psc의 광도 곡
 선의 뒤틀림 현상은 위상이 0.71에서 0.76에 걸쳐 광범위하게 나타나므로 한개의 흑점보다는 두개의
 흑점이 보다 효과적으로 광도 곡선의 뒤틀림 현상을 설명할 수 있다. 한편 채층활동이 강하게 나타
 나는 위상으로도 두개의 흑점을 유추할 수 있으므로 두개의 흑점이 존재하는 모델을 사용하였다.

흑점 모델에서 사용된 흑점은 반경, 온도, 경도, 위도 등 4개의 인자로 정의되며 모양은 가장 간단

표 2. SZ Psc의 초기입력인자와 최종인자의 값

	초기값	최종값		초기값	최종값
$q(m2/m1)$	1.34	1.34	i	77.75°	75.39°
F_1	1.0	1.0	F_2	1.0	1.0
T_1	6100K	5643K	T_2	4700K	4250K
g_1	0.5	0.5	g_2	0.5	0.5
A_1	0.5	0.5	A_2	0.5	0.5
Ω_1	13.5	11.525	Ω_2	5.2	5.2
$X_1(V)$	0.5	0.7	$X_2(V)$	0.5	0.8
$X_1(B)$	0.5	0.77	$X_2(B)$	0.5	0.89
Spot 1			Spot 2		
Lat_1	70.0°	70.0°	Lat_2	70.0°	70.0°
$Long_1$	280.0°	290.0°	$Long_2$	20.0°	10.0°
$Radius_1$	15.0°	24.0°	$Radius_2$	15.0°	22.28°
TF_1	0.85	0.86	TF_2	0.85	0.68

한 원형으로 계산된다. 흑점의 반경은 별의 중심으로 연결된 각을 뜻하며 온도는 주위 국부온도와와의 비율로 표시되고, 경도는 주성과 반성이 서로 마주 보는 점을 기준으로 360°회전하는 값이다. 그러므로 반성의 경도가 180°인 지점에 흑점이 위치하는 경우 주극심에서 흑점효과가 극대로 나타난다. 위도는 실제 프로그램에서는 북극점에서 0°이며 남쪽으로 내려 갈수록 증가하여 남극점에서 180°가 된다.

SZ Psc은 분리 근접쌍성에 해당하므로 WD프로그램중에서 Mode 2를 사용하여 인자들을 보정하였다. 인자를 보정할 때는 여러개의 인자들을 함께 보정하지를 않고 2-3개씩 그룹을 지어 보정하였다. 특히 흑점인자를 보정할때는 한 관측점에 대하여 경도와 반경을 보정인자로 할 경우 다른 흑점은 경도와 온도를 보정하여 반경과 온도를 서로 교대 수정하였다. 이는 흑점의 반경과 온도가 별의 밝기에 직접적으로 영향을 끼치므로 반경 혹은 온도중 어느 한 인자를 집중적으로 보정하면 보정과정에서 이론적인 광도곡선과 관측된 광도곡선의 차이가 줄어들어 나머지 다른 인자를 보정할 수 있는 폭이 그만큼 줄어들어 인자의 값이 수렴되지 않거나 또는 수렴하기 위하여 수 많은 반복 계산을 요구하기 때문이다. 자체 변광을 하는 광도곡선인 경우 반사효과, 중력효과, 주변광효과 등이 큰바 근접효과를 정확히 보정하는 것이 불가능하므로 별의 크기, 온도 등의 기본인자와 흑점인자의 보정에 집중하였다. 흑점인자 중에서 위도는 20도 (프로그램상에서는 70°)에 고정을 하였다. 왜냐하면 흑점이 적도 근처에서는 위도의 변화를 주어도 광도의 변화가 거의 일어나지 않으므로 편미분값이 $(\partial f/\partial p)$ 0이 되기 때문에 차등보정법으로는 수정이 불가능하기 때문이다. 위와 같은 보정방법으로 각 인자들이 수렴하여 확률오차가 인자의 보정 값보다 적어질 때까지 반복계산하였다. 초기 입력인자와 반복보정으로 얻은 최종인자의 값들을 표 2에 수록하였다.

최종인자값을 이용하여 이론적인 광도곡선을 완성하여 관측된 광도곡선과 함께 그림 4에 그렸다. 그림 4에서 보는바와 같이 이론적인 광도곡선은 관측된 광도곡선의 V 필터에서는 관측 scatter를 감안할 때 매우 잘 일치함을 보였으나 B 필터에서는 위상 0.2 전후하여 상대적으로 잘 일치하지 않았다. 그럼에도 불구하고 관측 scatter가 크기 때문에 근접 효과를 더 이상 정밀하게 보정하지는 않

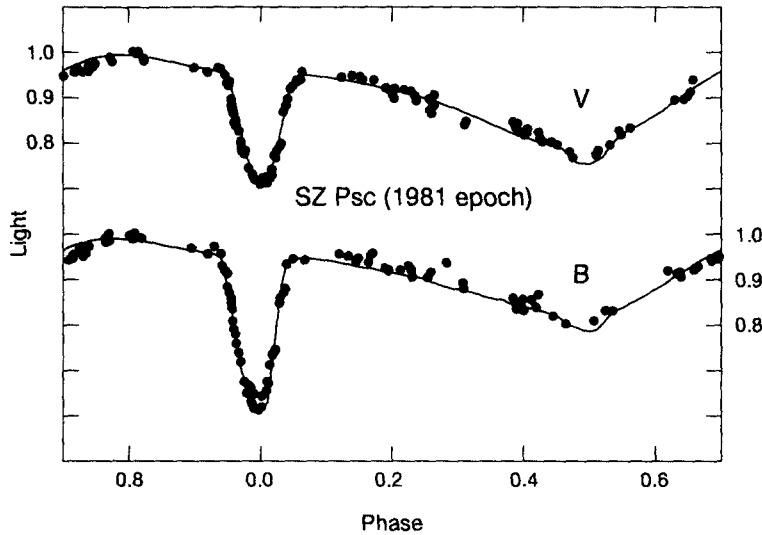


그림 4. SZ Psc의 광도 곡선과 이론적인 광도 곡선. 검은점으로 표시된것은 Tunca (1984)가 관측한 것이고, 곡선은 흑점인자를 포함한 최종인자 값을 사용하여 계산한 광도 곡선이다. 그림 상단의 곡선은 V 파장영역, 하단의 곡선은 B 파장영역의 광도 곡선을 뜻한다.

았다. 흑점인자외의 기본인자중에서 보정한 인자는 공전궤도 기울기, 질량비, potentials, 별의 온도와 밝기, 주변감광효과이다. 물결 모양의 광도 곡선은 공전 궤도 위상이 0.745에서 광도가 최소 값을 보이며, 이에 따라 흑점은 두 흑점군으로 충분히 물결 모양의 광도 곡선을 나타냈으며 그 위치는 각각 경도가 20° 와 280°로 수렴되었다.

공전궤도 기울기는 Eaton & Hall (1979)이 발표한 77°.75를 초기 입력 인자로 사용하였으나 여러번 반복 수정한 결과 75°.39로 수렴하였다. 이 값은 Eaton et al. (1982)의 75°.8와 Tunca (1984)의 75°.3와 거의 일치함을 보여 주었다. 한편 두 별의 온도는 6190K와 4710K로 수렴되었다.

4. 절대량과 토의

광도곡선으로부터 유추한 쌍성계의 해는 상대적인 값으로 표현되며 광도곡선이 매우 불안정할 경우에는 유일한 해를 구하기 힘든 경우도 빈번히 발생한다. 그러므로 분광학적인 해와 결합하여 절대량을 구하고 그 절대량을 통계적인 방법으로 검증하는것은 매우 의미있는 일이다.

SZ Psc의 절대량을 구하기 위하여 Jakate et al. (1976)가 발표한 주성과 반성에 대한 분광학적인 결과를 도입하였다. 각각의 계의 반경과 광도는 잘 알려진 아래의 식을 사용하여 구하고, 표 3에 그 값들을 수록 하였다.

$$R/R_{\odot} = (74.55(M/M_{\odot})(1+q)p^2)^{1/3} \tag{1}$$

$$rL/L_{\odot} = (R/R_{\odot})^2(T/T_{\odot})^4 \tag{2}$$

윗식에서 q, p, r 은 각각 질량비, 공전궤도주기 그리고 상대적인 반경을 뜻하며, 이 식을 사용하

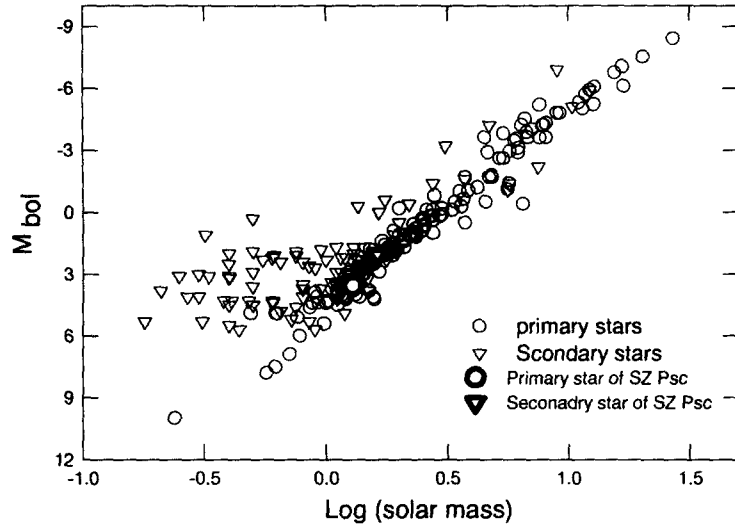


그림 5. 분리형 및 반분리형 식쌍성의 질량-광도 관계. 원과 삼각형은 각각 주성과 반성을 뜻하며, 굵은 선으로 그린 원과 삼각형은 SZ Psc의 주성과 반성이다. SZ Psc의 두 성분 별들은 일반적인 식쌍성과 잘 일치한다.

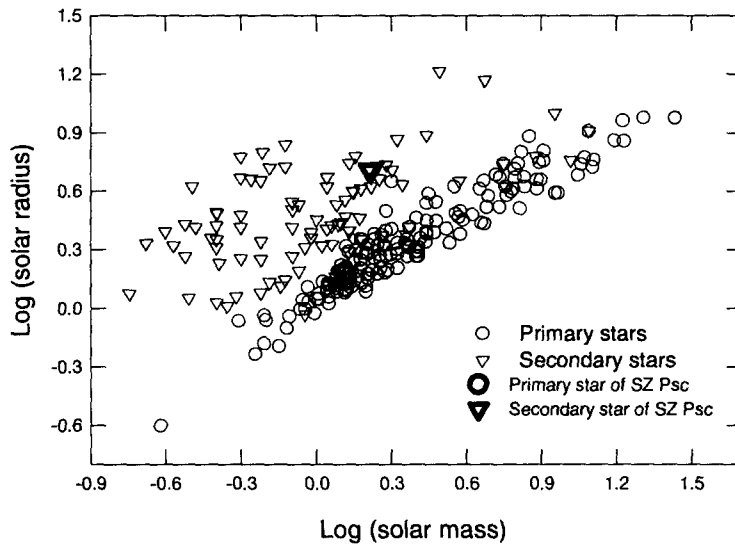


그림 6. 분리형 및 반분리형 식쌍성의 질량-반경 관계. 원과 삼각형은 각각 주성과 반성을 뜻하며, 굵은 선으로 그린 원과 삼각형은 SZ Psc의 주성과 반성이다. SZ Psc의 반성은 이미 준거성으로 진화하여 반경이 $5 R_{\odot}$ 이상 된다.

표 3. SZ Psc의 절대량

	Hotter	Cooler
Mass	1.28 M_{\odot}	1.62 M_{\odot}
Radius	1.5 R_{\odot}	5.1 R_{\odot}
Luminosity	2.94 L_{\odot}	11.21 L_{\odot}
Temperature	6190K	4710K
M_{bol}	3. ^m 56	2. ^m 04

여 구한 절대량은 표 3에 수록하였다. 이 절대량은 측광학적인 해와 분광학적인 해를 결합하여 구한 값이므로 두 종류의 해가 갖는 정확도에 따라서 절대량의 정확도가 결정된다. 한편 위와 같이 유추한 절대량을 검증하기 위한 방법으로 이 논문에서는 Catalogue of Orbital Elements, Masses and Luminosities of Close Double Stars (Svechnikov & Bessonova 1984)을 사용하여 질량-광도 관계, 질량-반경 관계 등을 비교하였다. 첫째로 질량-광도 관계를 위에서 언급한 catalogue에서 분리 및 반분리 쌍성의 주성과 반성을 구분하여 각각의 별에서 질량과 절대 등급을 선택하여 그림 5에 그리고 그 위에 SZ Psc의 질량과 절대 등급을 그렸다. 원과 삼각형은 각각 주성과 반성을 뜻하며, 굵은 선으로 그린 원과 삼각형은 SZ Psc의 주성과 반성이다. SZ Psc의 두 성분 별들은 일반적인 식쌍성과 잘 일치한다.

그림 5에서 사용된 별에 대하여 같은 방법으로 질량과 별의 반경에 대한 그래프는 그림 6에 그렸다. 원과 삼각형은 각각 주성과 반성을 뜻하며, 굵은 선으로 그린 원과 삼각형은 SZ Psc의 주성과 반성이다. SZ Psc의 주성 및 반성은 일반적인 식쌍성과 잘 일치하고 있다

이는 자체 변광으로 상당히 뒤틀린 비대칭적인 SZ Psc의 광도곡선을 흑점 모델을 이용하여 구한 해가 질량, 밝기, 크기면에서 타당성이 있다는 증거이다. 일반적으로 RS CVn은 진화 단계에서 온도가 낮은 별 혹은 두 별 모두 로쉬한계면을 거의 채우는 상태로 알려져 있다. SZ Psc은 분광형이 K1인 별이 주계열에서 진화하여 이미 팽창된 상태에 있으므로 크기가 상대적으로 크게 나타났다.

SZ Psc은 채층활동이 매우 활발하고, 가시광선 영역에서 광도곡선의 뒤틀림이 매우 커서 K1 별에 거대한 2개의 흑점으로 광도곡선의 해를 구할 수 있었다. Kang (1993)은 spot effect (SE)를 아래의 비로 정의하였다.

$$SE = (l' - l)/l \quad (3)$$

여기서 l' 은 자체 변광이 전혀 없다고 가정했을 때의 식 바깥에서의 광도이고, l 은 자체 변광으로 뒤틀린 상태에서의 광도이다. SZ Psc의 SE가 V와 B 영역에서 각각 0.159와 0.149로 보고하였다. 이는 다른 RS CVn형 별에 비하여 약 1.5배 높은 편이다. 결론적으로 IUE 분광선에 나타난 Mg II 방출선의 세기, 흑점 모델 및 spot effect 등을 고려할 때 SZ Psc의 자기활동은 매우 활발한 것으로 추정된다.

최근에는 이러한 RS CVn형 별이 W UMa형의 progenitor로 보고되고 있다 (van't Veer 1979, Vilhu et al. 1982, Guinan & Bradstreet 1988). 이는 W UMa형과 RS CVn형 별에서 나타나는 자기활동이 유사하다는 이유 때문에 나온 시나리오다. 최근에 W UMa형 별들이 나이가 많은 산개 성단 등에서 발견되는 것으로 미루어 보아 W UMa형 별들은 나이가 적어도 5-10 Gyr 되는 것도 포함한다.

다. 이렇게 나이가 오래된 W UMa형 별을 설명하기 위해서는 처음부터 접촉형 쌍성으로 태어났다가 보다는 분리형 쌍성 중에서 RS CVn형 쌍성이 각운동량 손실을 통해서 접촉형 쌍성으로 진화했다는 시나리오가 더욱 타당성 있는 것으로 받아들여 지고 있다. Guinan & Bradstreet (1988)는 4일의 초기 주기를 갖는 분리형 쌍성이 각운동량 손실을 거쳐 접촉에 도달하는데 걸리는 시간은 대략 7-9 Gyr라고 추산하였다. 여기서 각운동량 손실은 주로 강력한 자기장으로 인하여 생기는 항성풍 때문에 일어난다. 태양과 같은 별은 홀별이면서, 분광형이 만기형이므로 자기장의 영향으로 각운동량이 손실되어 현재는 자전 속도가 매우 느려졌다. 쌍성인 경우 각운동량의 손실로 두 별사이의 거리가 감소하여 공전주기는 오히려 빨라져서 동주기 자전을 하는 쌍성계에서는 자전이 증가한다. 그러므로 쌍성의 자기활동에 대한 관측 자료의 축적과 정량적인 분석은 쌍성진화에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

참고문헌

- Bakos, G. A., & Heard, J. F. 1958, ApJ, 63, 302
- Doyle, J. G., Mitrou, C. K., Mathioudakis, M., Avgolouppis, S., Mavridis, L. N., Varvoglis, P. P., Graos, F., & Antonopoulou, E. 1994, AA, 291, 135
- Eaton, J. A., Scaltriti, F., Cerruti-Sola, M., Sarma, M. B. K., Ausekar, B. D., Catalano, S., & Rodono, M. 1982, Ap&SS, 82, 289
- Eaton, J. A., & Hall, D. S. 1979, ApJ, 227, 907
- Guinan, E. F., & Bradstreet, D. H. 1988, In Formation and Evolution of Low Mass Stars, ed. A. K. Dupree & M. T. Lago (Reidel: Dordrecht), 345
- Jakate, S. M. 1979, IBVS 1578
- Jakate, S. M., Bakos, G. A., Fernie, J. D., & Heard, J. F. 1976, AJ, 81, 250
- Jensch, A. 1934, AN, 252, 393
- Kang, Y. W. 1993, ASP Conference series 38, 371
- Kang, Y. W., & Wilson, R. E. 1989, AJ, 97, 848
- Kron, G. E. 1947, PASP, 59, 261
- Russell, H. N., & Merrill, J. E. 1952, Princeton Univ. Obs. Contr No.26
- Svechnikov, M. A., & Bessonova, L. A. 1984, CDS Bull., No.26, 99
- Tunca, Z. 1984, Ap&SS, 105, 23
- van't Veer, F. 1979, AA, 80, 287
- Vilhu, O., Ambruster, C. W., Neff, J. E., Linsky, J. L., Brandenburg, A., Ilyin, I., & Shakjovskaya, N. 1989, AA, 222, 179
- Vogt, S. S. 1982, ApJ, 250, 327
- Walter, F. M., & Bowyer, C. S. 1981, ApJ, 245, 671
- Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971, ApJ, 166, 605