

산개성단 NGC 7209에 속한 쌍성 SS Lac¹

강 영 운

세종대학교 지구과학과, 대양천문대

SS Lac IN OPEN CLUSTER NGC 7209

Young Woon Kang

Daeyang Observatory, Department of Earth Science, Sejong University

e-mail: kangyw@astro.sejong.ac.kr

(Received November 10, 1997; Accepted November 25, 1997)

요 약

산개성단 NGC 7209에 속한 쌍성 SS Lac에 대하여 원자외선 영역의 IUE 관측을 수행하였다. IUE 저분산의 짧은 파장과 긴 파장 영역의 스펙트럼을 합성하여 에너지 분포곡선을 완성하고 적색화 현상을 제거한 후, Kurucz 항성대기 모델과 비교하여 SS Lac의 표면온도, gravity, abundance 등을 결정하였다. SS Lac의 식현상이 중단되기 이전의 광도곡선을 분석하고, SS Lac의 가능한 거리를 구하여, SS Lac이 산개성단 NGC 7209의 구성원임을 확인하였다. 식이 중단된 이유는 충돌에 의한 합병보다는 제 3체에 의한 공전궤도 기울기의 변화가 더 타당성이 있는 것으로 판명되었다.

ABSTRACT

We present IUE observations in far ultraviolet region for SS Lac in open cluster NGC 7209. The IUE short wavelength spectrum and long wavelength spectrum were merged to produce an energy distribution curve between 1200Å and 3200Å. The curve has been unreddened to take out reddening effect. Then the surface temperature, gravity and abundance of SS Lac were determined based on the Kurucz model atmosphere. The photographic light curve produced before cessation of eclipse were analyzed for photometric solutions. We confirmed SS Lac is a member of open cluster NGC 7209 based on its possible distance. The main reason for the cessation of eclipse is the change of the system's orbital inclination rather than collisional merge of two stars .

1. 서 론

SS Lac은 산개성단 NGC 7209에 속한 식쌍성이다. 이 쌍성의 변광은 Hoffmeister(1921)에 의해서 식현상에 의한 것으로 밝혀졌으나 최근에 SS Lac의 식현상이 중단되었다는 보고가 여러 관측자에

¹이 연구는 학술진흥재단의 '95 대학교수 해외파견 연구비 지원에 의한 것임

의해서 확인되었다(Zakirov & Azimov 1990, Lehmann 1991, Schiller *et al.* 1991, Milone *et al.* 1992, Mossakovskay 1993, 1995). Hoffmeister는 식현상을 최초로 보고하면서 공전주기가 1.201499일로 보고하였으나, 후에 Dugan & Wright(1935)이 더 많은 관측자료를 분석한 결과 광도요소를 다음과 같이 구하였다.

$$Min I = JD Hel 2415900.76 + 14.^d41629E \quad (1)$$

그들은 사진관측자료를 종합하여 식 바깥부분에서 이 쌍성의 밝기는 $10.^m28$ 이고 제1극심부에서는 밝기가 $10.^m69$ 까지 어두워졌다고 보고하고, 사진관측자료에서 광도곡선을 완성하여 측광학적인 케도요소를 제한적으로 구하였다. 그 후 이 쌍성계는 큰 관심거리가 되지 못하여 한동안 연구보고가 거의 없다가 Zakirov & Azimov(1990)가 1984 ~ 1989년 사이에 광전측광을 수행하고, 식현상이 나타나지 않는 것을 보고하였다. 최근에는 Milon *et al.* (1992)과 Mossakovskay(1993)도 1989-1991년 사이와 1989년에 각각 광전관측을 시도하였으나 식현상이 나타나지 않음을 확인하였다. 이들은 모두 SS Lac에서 식현상이 더 이상 일어나지 않는 것을 확인하였으나 그 시기에 대해서는 조금씩 다른 결과를 보였다. 즉, Zakirov & Azimov(1990)는 약 1952년경부터 식현상이 없어진 것으로 추정하는 반면에 Milone *et al.* (1992)은 1950 ~ 1951년 사이에 SS Lac의 식현상이 없어졌다고 추정하였다. 이들이 분석에 사용한 자료는 사진관측과 육안 관측자료를 수집한 것들이다.

식현상이 중단되었다는 사실이 여러 관측자에 의해서 보고되자 Lehmann(1991)은 Sonneberg 천문대에서 1890년부터 1989년까지 촬영한 sky patrol plate를 재조사하였다. 그 결과 1950년대 초까지 식의 깊이가 점차적으로 줄어드는 것을 발견하여 식현상이 갑자기 중단하지 않고 서서히 없어졌다고 주장하였다. Schiller & Milone(1996)은 Harvard College Observatory가 보관하고있는 사진건판을 읽는데 Plate Digitizer/Stellar Photometer(PDSP)를 사용하여 1890-1964년 사이의 건판에서 SS Lac의 광도를 측정하였다. 이 건판중에는 Dugan & Wright(1935)이 광도요소를 구할 때 사용한 것도 포함되어있다. 최근에는 Lacy(1992)가 SS Lac의 색지수를 결정하기 위하여 광전측광을 한 결과 $V = 10.^m96, B - V = 0.16, U - B = 0.173$ 이 각각 결정되었다.

SS Lac의 분광관측은 최근에야 수행되었다. Schiller & Milone(1996)은 식현상이 사라진 것을 확인한 후에 SS Lac에 대한 분광관측을 1983-1984년 사이에 수행하였다. 그들은 여러 위상에서 시선 속도를 측정하였으나 케도운동에 의한 변화를 발견하지 못하여 쌍성의 두 성분 별이 더 이상 존재하지 않는 것으로 추정하였다.

한편 SS Lac은 산개성단 NGC 7209의 구성원일 것이라고 추정하고 있다. 이 성단에 대한 *Uvby - beta* 측광관측은 Pena & Penich(1994)에 의해서 수행되었다. 이들은 NGC 7209 성단의 구성원에 대한 거리를 구한 결과 거리에 따라서 구성원을 두 그룹으로 나눌 수 있었다. 이 두 그룹의 거리는 성단의 크기보다 큰 것으로 나타나서 두 개의 성단이 서로 가깝게 위치하는 것으로 주장하였다. SS Lac은 두 성단 중 가까운 성단에 속한다.

위에서 소개한 바와 같이 현재 SS Lac은 식현상을 일으키지 않으므로 그 원인을 규명하기 위하여

표 1. SS Lac의 등급과 색지수.

V	B-V	U-B	b-y	E(B-V)	E(b-y)	Reference
10.096	0.160	0.173		0.141		Lacy(1992)
10.100			0.122	(0.114)	0.080	Pena & Peniche(1994)
10.09	0.14	0.16		0.12		Hoag <i>et al.</i> (1961)

다각적인 방법이 동원되고 있다. 이 논문에서는 첫째 IUE 저분산 스펙트럼을 이용하여 SS Lac의 표면온도를 결정하고, 둘째 식현상이 중단되기 전에 관측된 사진 광도곡선을 재분석하고, 식현상이 중단되게 된 이유에 대하여 논의하였다.

2. 분광형과 온도결정

SS Lac 쌍성계의 온도를 결정하기 위하여 IUE 저분산 관측을 시도하였다. 짧은 파장 영역(1150 ~ 2000Å)에서 3개의 스펙트럼을 각각 15분, 40분, 60분의 노출 시간을 주고 촬영하였고, 긴 파장 영역(1900 ~ 3200Å)에서는 각각 10분과 20분의 노출 시간을 주고 촬영하였다. 그 중 노출시간이 충분한 스펙트럼을 각 영역에서 선정하여 1200 ~ 3200Å사이의 파장영역에 해당하는 에너지 분포곡선을 완성하고, 그림 1에 파장 대 에너지 곡선을 나타내었다. 그림 1에서 보는바와 같이 에너지 분포곡선은 성간물질에 의한 흡수로 적색화가 심하게 나타난 것이므로 이를 보정하기 위하여 SS Lac에 대한 등급과 색지수를 문헌에서 조사하여 표 1에 요약하였다. Lacy(1992)는 SS Lac을 포함하는 69개의 식쌍성을 선정하여 식바깥 부분에서 *UBV* 측광관측을 수행하였고, Pena & Peniche(1994)는 산개성단의 구성원들에 대한 *uvby - beta* 측광관측을 시도하였다. 이들이 구한 색지수를 다음의 관계식(Mihalas & Binney 1981)에 적용하여 색초과를 구하였다.

$$E(B - V) = (B - V) - 0.332(U - B) - 0.72(B - V) \quad (2)$$

식(2)에서 Lacy(1992)가 구한 색지수를 이용하면 $E(B - V) = 0.^m141$ 을 얻는다. 그러나 Hoag *et al.* (1961)가 제시한 색지수를 이용하면 $E(B - V) = 0.^m12$ 가 된다. 그러므로 이 논문에서는 색초과 값을 $0.^m10$ 에서 $0.^m30$ 까지 $0.^m02$ 간격으로 사용하여 에너지분포곡선에서 적색화 현상을 제거하여 Kurucz의 항성대기 모델과 비교하여 가장 잘 일치하는 것을 선택한 결과 SS Lac의 색초과를 $E(B - V) = 0.^m140$ 으로 결정하였다. 최종 선택된 색초과를 이용하여 적색화 현상을 보정한 파장별 에너지 분포곡선을 결정하였다.

SS Lac의 분광형을 결정하기 위하여 IUE에서 발표한 표준성의 에너지 분포곡선과 비교하였다. 분광형이 A0와 A1인 IUE 표준성의 에너지 분포곡선과 적색화 현상을 보정한 SS Lac의 에너지 분포곡선을 그림 2에 그려 비교하였다. 그림 2에서 점선은 SS Lac의 에너지 분포곡선이고, 실선은 표준성의 에너지 분포곡선이다. 그림 2에서 윗부분이 분광형 A0와 비교한 것이고, 아래부분이 A1과 비교한 것이다. 분광형 A0인 경우 긴파장 영역에서는 SS Lac과 표준성의 플럭스가 잘 일치하나 짧은 파장 영역에서는 불일치를 나타내고 있다. 분광형 A1와 비교할 경우 긴파장 영역과 짧은 파장영역에서

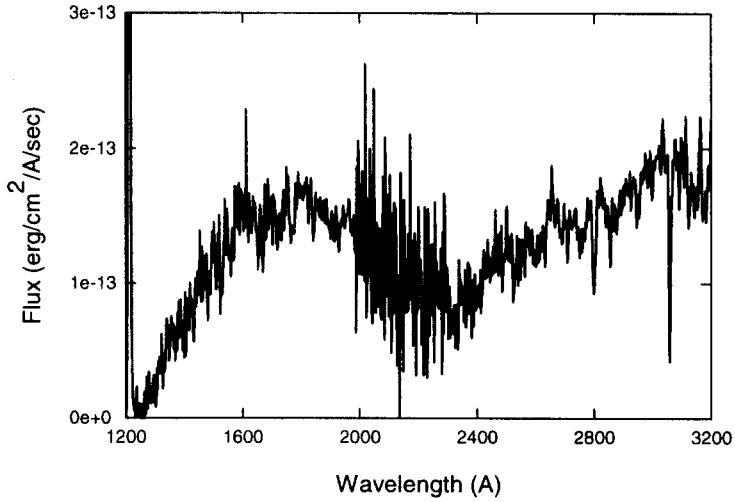


그림 1. SS Lac의 IUE 스펙트럼. 짧은 파장영역과 긴 파장 영역을 합성하여 그린 것으로 성간물질에 의한 적색화 현상이 파장영역 2400Å부근에서 뚜렷이 나타난다.

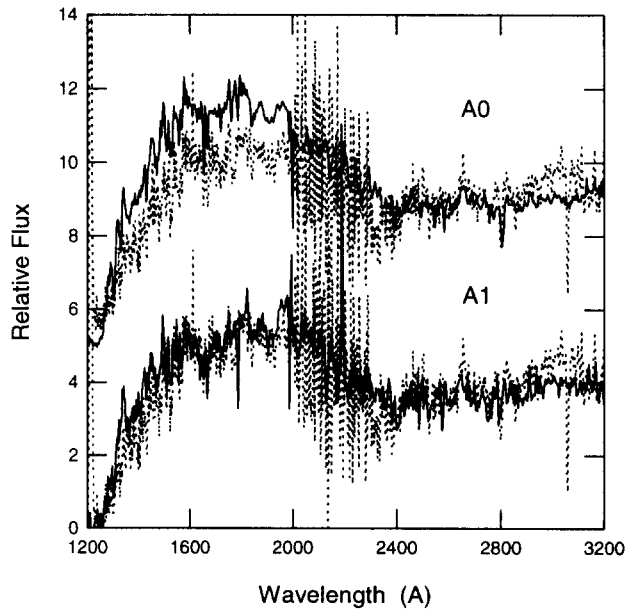


그림 2. 적색화 현상을 보정한 SS Lac의 IUE 스펙트럼과 분광형이 A0와 A1인 IUE 표준성의 스펙트럼. 점선으로 표시된 것이 SS Lac의 IUE 스펙트럼이고, 실선이 분광형이 A0와 A1인 표준성의 스펙트럼이다.

비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있으므로 SS Lac의 분광형은 A1에 더 가까울 것으로 유추할 수 있다.

SS Lac의 온도를 결정하기 위하여 Kurucz의 항성대기 모델을 사용하였다. 적색화 현상을 제거한 에너지 분포곡선을 파장이 1200 ~ 3200Å사이의 영역에서 Kurucz 모델과 비교하였다. 두 곡선을 일치시키기 위하여 Kurucz모델의 주요인자인 유효온도, gravity, abundance를 조정하였고 그림 3에는 IUE 저분산 스펙트럼에서 적색화 현상을 제거한 후 완성한 에너지 분포곡선과 이 곡선에 가장 근사한 Kurucz 모델의 곡선을 나타내었다. Kurucz 모델에 사용된 인자는 유효온도 9000K, gravity log $g=4$, abundance $a=0$ 이다. Kurucz 모델을 이용하여 구한 SS Lac계의 유효온도 9000K는 앞에서 구한 분광형 A1의 온도와 잘 일치하는 온도이다.

3. 광도곡선

식현상이 없어지기 전의 SS Lac계의 궤도요소를 확인하기 위하여 현재까지 발표된 광도곡선을 조사한 결과 식이 중단되기 이전에는 SS Lac에 대한 광전측광은 수행되지 않았다. 대부분의 광도곡선은 survey용 사진건판을 조사하여 완성한 광도곡선이다. 그 중에서 Dugan & Wright(1935)이 발표한 광도곡선이 가장 정확도가 높은 것으로 나타나서 이 광도곡선을 재분석하였다. 그들이 발표한 광도곡선은 Harvard College Observatory의 사진건판을 조사하여 완성한 것이며, 식바깥에서 관측 오차로 추정되는 scatter가 좀 심하지만 제1극심에서 약 0.^m42이 어두워졌고, 제2극심에서는 약 0.^m40 정도 어두워져서 분명한 식현상을 나타내고 있다. 광도곡선의 모양으로는 SS Lac이 알골형 식쌍성이었음을 알 수 있다.

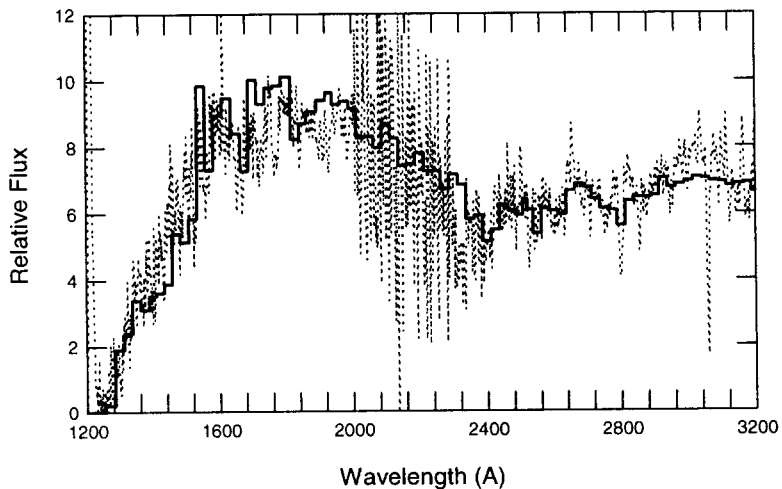


그림 3. 적색화 현상을 보정한 SS Lac의 IUE 스펙트럼과 Kurucz의 항성대기 모델. Kurucz 모델은 유효온도 9000K, gravity log $g=4$, abundance $a=0$ 값을 사용하여 산출되었으며, 실선으로 표시되어 있다.

표 2. SS Lac의 측광학적안 해.

인자	보정인자값	인자	보정인자값
e	0.1138 ± 0.0036	Ω_h	13.0869 ± 0.4438
Lng. perastron	10.0 ± 0.1368	Ω_c	15.6049 ± 0.3199
i	87.78 ± 0.04	r_h (pole)	0.08358 ± 0.00309
q	1.0	(point)	0.08375 ± 0.00312
Pshift	0.0331 ± 0.0003	(side)	0.08364 ± 0.00311
T_h	9000	(back)	0.08374 ± 0.00312
T_c	8797 ± 0.0007	r_c (pole)	0.06906 ± 0.00153
$x_h = x_c$	0.6	(point)	0.06914 ± 0.00153
$g_h = g_c$	0.5	(side)	0.06908 ± 0.00153
$A_h = A_c$	1.0	(back)	0.06913 ± 0.00153
$L_h / (L_h + L_c)$	0.6156 ± 0.0205		

광도곡선의 측광학적인 해를 구하기 위하여 Wilson & Devinney 차등보정법을 사용하였다. SS Lac의 광도곡선은 사진등급에 의한 광도곡선이므로 proximate effect로 분류되는 반사효과, 중력감광효과, 주변감광효과를 나타내는 인자들은 보정에서 제외되었다. 그러므로 이론적인 광도곡선을 관측치에 fitting하기 위하여 보정된 인자들은 이심률, longitude of periastron, phase shift, 두 별의 potentials, 그리고 light level 등이다.

사진 광도곡선은 이론적인 광도곡선과 함께 그림 4에 그렸다. 식 바깥부분의 광도는 위상이 0.25인 곳이 0.775인 곳보다 밝게 나타났다. 제2 극심은 위상 0.57에서 나타나 공전 궤도의 이심률이 클 것으로 예상하고 이심률과 longitude of periastron을 Wilson & Devinney 차등보정 프로그램에서 보정한 결과 각각 0.1138 ± 0.0036 과 10.00 ± 0.14 로 수렴되었다. 두 별의 온도는 제1 극심과 제2 극심의 깊이가 매우 비슷하게 나타나므로 IUE에서 구한 9000K를 초기 인자로 하여 반성의 표면은

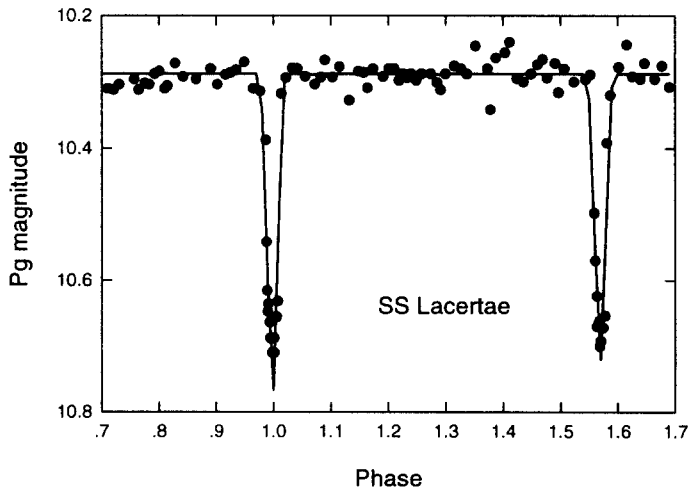


그림 4. SS Lac의 광도곡선. 이론적인 광도곡선의 비교. 사진 광도곡선은 점으로 하였고, 이론적인 광도곡선은 실선으로 표시하였다.

표 3. SS Lac의 절대값과 거리.

계의 질량(m_{\odot})	장반경(A.U.)	반경1(R_{\odot})	반경2(R_{\odot})	$L_1 + L_2(L_{\odot})$	M_v	m-M	distance(pc)
2.0	0.146	2.64	2.17	65.25	0.51	9.14	673
4.0	0.184	3.32	2.73	103.58	0.01	9.64	847
6.0	0.211	3.80	3.12	135.73	-0.28	9.93	970

도만 조정 한 결과 약 8800K로 수렴되었다. 두 별의 상대 반경은 0.083과 0.069로 SS Lac계의 Roche lobe에 비하여 매우 작은 반경으로 나타났고 이로 인하여 공전궤도 기울기가 87.°8 임에도 불구하고 식의 폭이 매우 좁게 나타났다. 이러한 조건은 기울기가 약 81.°3가되면 식이 완전히 없어지고, 관측 여건을 고려하면 83°만 되어도 식현상이 우리에게는 관측될 수 없는 상황이 된다. 사진 광도곡선에서 구한 측광학적인 해는 표 2에 수록하였다.

4. 산개성단의 구성원인 SS Lac

SS Lac이 산개성단 NGC 7209의 구성원일 가능성은 매우 높게 나타나고 있다. 이 논문에서는 두 경우를 가정하여 측광학적인 특성을 기초로 그 가능성을 시험해 보려고한다. 하나는 SS Lac이 아직도 쌍성계를 유지하고 있다는 가정이고, 다른 하나는 쌍성계의 두 별이 합쳐져서 현재는 하나의 별로 존재한다는 가정이다.

첫째 SS Lac이 아직도 쌍성계를 유지한다고 가정했을 경우 SS Lac계의 공전궤도 기울기는 제3체에 의해서 81.°3 이하로 낮아졌을 것이다. 이 경우 계의 총질량을 $2.0m_{\odot}$ 로 가정하면 케플러 제3법칙으로부터 장반경을 약 0.15AU로 구할 수 있다. Wilson & Devinney 모델로 광도곡선을 분석한 결과 두 별의 상대 반경은 각각 0.084와 0.069로 산출하였다. 한편 두별의 혼합된 온도는 IUE 관측에서 얻은 저분선 스펙트럼과 Kurucz 모델에서 매우 정확하게 결정되었으므로 이를 기초로 반성의 온도를 보정한 결과 주성의 온도와 비슷한 8789K를 얻었다. 그러므로 계의 총 에너지인 광도를 식 $L = 4\pi R^2\sigma T^4$ 로부터 구하였다. 여기서 R은 별의 반경이고, σ 와 T는 각각 스테판-볼츠만 상수와 별의 유효온도이다.

표 3에서 보는바와 같이 서로 다른 3종류의 질량에 따라 거리가 각각 6736pc, 847pc, 970pc로 산출되었다. Pena & Peniche(1994)는 NGC 7209에 속한 약 40여개의 별을 uvby-beta 측광관측을 하여 각 별의 거리를 구한 결과 구성원을 두 그룹으로 구분하였다. 한그룹은 거리가 650pc - 1000pc에 분포한 것이고, 다른 한 그룹은 거리가 1050pc - 1400pc에 분포하는 것이다. 이 논문에서 구한 SS Lac의 거리는 우리가 가정한 3 종류의 질량중 어느 경우도 모두 전자에 속하는 것으로 나타므로 SS Lac은 NGC 7209의 구성원이라 할 수 있다.

둘째는 SS Lac이 더 이상 쌍성계가 아니고 현재는 하나의 별인 경우를 가정했을때다. 이 경우 별의 반경을 구할 수 없으므로 질량-광도 관계에서 밝기를 유추해야만 하는데 총들에 의한 별의 합병이 일어난지 얼마되지 않은 상태라면 질량-광도 관계를 그대로 적용하여 밝기를 구하는 것은 상당한 무리가 따르므로 신빙성있는 거리를 구하는 것이 불가능하다.

5. 토의와 결론

1950년대 초부터 SS Lac의 식현상이 사라진 것으로 알려지고, 최근에 Blue Straggler가 항성진화의 중요한 연구대상으로 부상하면서 SS Lac에 대한 관심이 급격히 증가하였다. 특히 SS Lac은 산개성단 NGC 7209의 가능한 구성원으로 알려져 있기 때문에 성단안에서 충돌에 의한 별의 합병을 충분히 예견할 수 있는 조건을 갖추고 있다. 합병의 결정적인 증거는 아직 제시되지 못하고 있지만 합병을 식이 중단된 원인중의 하나로 주장하는 논문이 Schiller & Milone(1996)에 의해서 발표되었다. 그러나 우리의 종합적인 결론은 다음과 같은 이유로 SS Lac이 합병보다는 아직도 쌍성계를 유지하는 쪽에 더 큰 비중을 두고 있다.

SS Lac계의 구성원들이 합병하여 한 별이 되었다면 비록 짧은 시간이지만 매우 격렬한 상태를 유지하였을 것으로 추정된다. 특히 두 별이 한별로 합병되면 밝기의 증가가 나타나야만 한다. 그러나 SS Lac의 사진 광도곡선에서 보는바와 같이 식바깥 부분에서의 밝기는 10.^m2등급으로 나타나 있다. 이 밝기를 표 1에 제시된 Lacy(1992), Pena & Peniche(1994) 그리고 Hoag *et al.* (1961)의 UBV 혹은 *V*_{by} 관측과 비교해보면 거의 차이가 없다. 식현상이 없어진 후에 관측한 그들의 *B* 등급도 10.^m25, 혹은 10.^m23 등으로 식현상 중단 전후로 밝기의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

IUE 저분산 스펙트럼에서 유추한 SS Lac의 표면온도와 분광형 그리고 절대등급 등으로 H-R 도표상에서 SS Lac을 추정하면 주계열에서 거성쪽으로 약간 진화한 곳에 위치한다. 이곳은 정상의 별이 진화하는 경로로 Blue Straggler 등이 위치하는 곳과는 약간의 거리가 있다. SS Lac이 쌍성계를 유지하고 있다는 보다 명확하고 직접적인 증거를 의하여 IUE 고분산 관측을 수행하였다. 안시등급이 10.^m25인 SS Lac을 360분간 노출을 주었으나 여전히 노출부족으로 스펙트럼 선운곽들이 완전하게 나타나지 않아서 IUE에서 개발한 software를 사용하여 선운곽을 복원하는 작업을 진행중에 있다. 이 작업이 성공리에 끝나면 두 별에서 나온 선운곽이 중첩된 것인지 아니면 단순 노출부족인지를 판단할 수 있을 것으로 예상된다.

식현상이 나타날 당시의 SS Lac의 광도곡선은 매우 좁은 식의 폭을 보여주고 있다. 제1극심인 경우 제1점측과 제4점측사이의 간격은 위상으로 0.026이다. 이와같이 식이 일어나는 시간이 짧은 계가 성단안에 존재할 때 제 3천체에 의해서 기울기가 변할 확률이 두 별이 충돌하여 합병할 확률보다 더 높을 것이다. 식이 일어날 당시의 공전 궤도 기울기는 87.°78이고 그 상태에서 기울기가 81.°4로 변하면 식현상은 없어진다. 특히 Lehmann(1991)은 약 90년간의 sky patrol plate를 재 분석한 결과 식의 깊이가 서서히 줄어들었다고 보고하였다. 이는 SS Lac이 갑작스런 충돌에 의한 합병보다는 제3천체에 의한 점진적인 기울기의 변화가 식의 중단에 대한 이유로 더 설득력이 있다.

감사의 글: 이 연구는 학술진흥재단의 '95 대학교수 해외파견 연구로 수행되었으며 미국체재를 허락하여준 Villanova University 천문학과장 G. McCook 교수와 연구에 많은 도움을 준 E. Guinan 교수에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Dugan, R. S. & Wright, F. W. 1935, AJ, 44, 150
Hoffmeister, C. 1921, A. N., 214, Nr.5113, 1
Hoag, A. A., Johnson, H. L., Iriarte, B., Mitchell, R. I., Hallam, K. L. & Sharpless, S. 1961, Naval
Obs. Publ., XVII, Part VII, 349
Lacy, C. H. 1992, AJ, 104, 801
Lavdovska, V. V. 1962, Izv. Pulkova Obs., 24, No.3, 69
Lehmann, T. 1991, IBVS 3610
Milone, E. F., Stagg, C. R. & Schiller, S. J. 1992, in Evolutionary Processes in Interacting Binary
Stars, eds. Y. Kondo, R. F. Sistero, and R. S. Polidan (Kluwer: Dordrecht), p.479
Mossakovskaya, L. V. 1993, Astron. Lett., 19, 35
Mossakovskaya, L. V. 1995, I.A.P.P.P., 59, 22
Pena, J. H. & Peniche, R. 1994, Rev. Mex. AA, 28, 139
Schiller, S. J. & Milone, E. F. 1996, ASP Conf. Ser., 90, 120
Schiller, S. J., Milone, E. F., Zakirov, M. M. & Azimov, A. A. 1991, B.A.A.S., 23, 879
Zakirov, M. M. & Azimov, A. A. 1990, IBVS 3487