

식쌍성 T LMi의 궤도요소와 공전주기 변화에 관한 연구

오 규 동

전남대학교 지구과학과

(1987년 12월 1일 받음; 1987년 12월 10일 수리)

Orbital Elements and Period Variation of the Eclipsing Binary T LMi

Kyu-Dong Oh

Department of Earth Science, Chonnam National University

(Received December 1, 1987; Accepted December 10, 1987)

요 약

Okazaki (1977)의 2색(V와 B)의 광전측광에 의한 광도곡선을 Wilson and Devinney 모델을 이용하여 T LMi의 광전궤도요소를 구하였으며 지금까지 발표된 이 별의 극심시각을 문현으로 수집하여 궤도공전주기변화를 분석하였다.

T LMi의 공전주기 변화는 sinusoidal 한 주기변화를 나타내며 그 진폭은 $0^d.0425$ 이고 장주기변화는 $62^y.01$ 로 나타났다. 한편, 이번 연구에서 얻어진 T LMi의 물리적 성질에 따르면 이 별은 “R CMa”형으로 분류한다는 것은 재검토가 있어야 하겠다.

Abstract

A photometric solutions of T LMi were derived with the Wilson and Devinney model using the BV photoelectric light curves of Okazaki(1977) and orbital period changes are discussed from the all of the collected times of minima available in the literature. We obtained a variation with a period of $62^y.01$ and an amplitude of $0^d.0425$ form the (O - C) diagram. According to the physical properties of T LMi on the basis of derived photometric solution, it have a doubt the credibility of the existence of “R CMa type”.

I. 서 론

식쌍성 T Leo Minoris는 H. S. Leavitt(Pickering, 1907)에 의하여 발견되어졌으며 처음으로 McDiarmid(1924)의 육안관측에 의한 광도곡선이 발표되었다. 그 후 Struve(1946)는 분

광관측에 의한 이 별의 시선속도곡선을 관측하고 이로부터 mass function을 발표하였다. Struve가 발표한 T LMi의 mass function은 $0.0049 M_{\odot}$ 로서 일반적인 식쌍성의 mass function 값에 비하여 대단히 작은 값으로 나타났다. 한편, Kopal and Shapley(1956)는 이 별의 반성이 Roche lobe를 채우고 있다는 가정하에 McDiarmid의 광도곡선을 분석하고 Struve의 mass function을 이용하여 T LMi의 질량을 계산하였다. 이들이 발표한 주성과 반성의 질량은 각각 $0.69M_{\odot} + 0.15M_{\odot}$ 로 매우 작은 값으로 나타났다. 따라서, Kopal(1956, 1959)은 T LMi의 mass function($= 0.0049M_{\odot}$)이 매우 작다는 것과 그들의 밝기애 비교하여 주성과 반성의 질량 또한 대단히 작다는 결과로부터 이 별이 소위 "R CMa"형에 속하는 것으로 분류하였다.

Okazaki(1977)는 광전측광에 의한 3색(U, B, V)의 광도곡선과 분광관측을 통하여 T LMi의 궤도요소를 얻고, 반성이 Roche lobe를 채우고 있다는 가정하에 Plavec and Kratochvil(1964)으로부터 이 별의 질량비($q = 0.13$)를 추정하여 주성과 반성의 질량을 계산하였다. Okazaki가 계산한 주성과 반성의 질량은 각각 $M_1 = 2.9M_{\odot}$ 와 $M_2 = 0.37M_{\odot}$ 로서 Kopal and Shapley의 질량에 비하여 매우 큰 값으로 나타났다. 또한, 이 별의 물리적인 성질로 보아 T LMi가 R CMa형의 별로 분류된다는 것은 모순이라고 주장하였다. 그 후, Cester et al.(1979)도 Okazaki의 광도곡선을 이용하고 Wood(1972)모델을 사용하여 이 별의 궤도요소와 함께 두 별의 질량($M_1 = 6.1M_{\odot}$, $M_2 = 0.6M_{\odot}$)을 계산하였다. 이와 같이 지금까지 발표된 T LMi의 주성과 반성의 질량에 있어서 발표자마다 서로 큰 차이를 보이고 있으며, 이 별이 R CMa형으로 분류될 수 있을 것인가에도 많은 의문을 보이고 있다.

따라서, 이번 연구에서는 Okazaki의 광도곡선을 새로운 모델인 Wilson and Devinney(1971)의 differential correction program을 사용하여 재분석하고, 이로부터 이 별의 물리적 성질을 조사하였다.

II. 공전주기변화

T LMi의 공전주기변화는 전형적인 준점축 식쌍성의 Algol형에서 나타나는 주기변화의 형태(Biermann and Hall 1973)로서 그 변화형태가 sinusoidal한 모습을 나타내고 있는 식쌍성이다.

Okazaki(1977)는 T LMi의 공전주기변화를 조사하기 위하여 발표된 문헌으로부터 55개의 극심시각을 수집 분석하여 이 별의 광도요소를 얻고, 이로부터 진폭이 $0^{\text{d}}0433$ 이고 60.9의 장주기(U)변화를 나타내는 (O-C)도를 얻었다.

이번 연구에서는 Okazaki에서 누락된 극심시각 6개와 Okazaki의 발표 이후 관측된 12개의 극심시각을 더 수집하여 T LMi의 (O-C)도를 작성한 결과 Okazaki의 광도요소가 최근의

극심시 각과 잘 일치하지 않고 있음을 알 수 있었다. 따라서 Okazaki and Kitamura(1974)의 광전 측광된 극심시 각을 기준점으로 하여 새로운 광도요소를 구하였다.

$$\text{Min. I} = \text{J. D. } 2441725.1886 + 3^d 0199141 \times E$$

그림 1은 새로운 광도요소를 사용하여 얻은 T LMi의 (O-C)도이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 T LMi의 광전주기 변화는 sinusoidal한 주기변화를 나타내고 있으며, 그 진폭은 $0^d 0425$ 이고 장주기변화는 $62^y 01$ 로서 Okazaki에 비하여 진폭은 $0^d 0008$ 감소하고 장주기(\bar{U})는 $1^y 11$ 길어지는 것으로 나타났다. 표 I에 지금까지 발표된 T LMi의 극심시각을 여러 문헌으로부터 수집하였다.

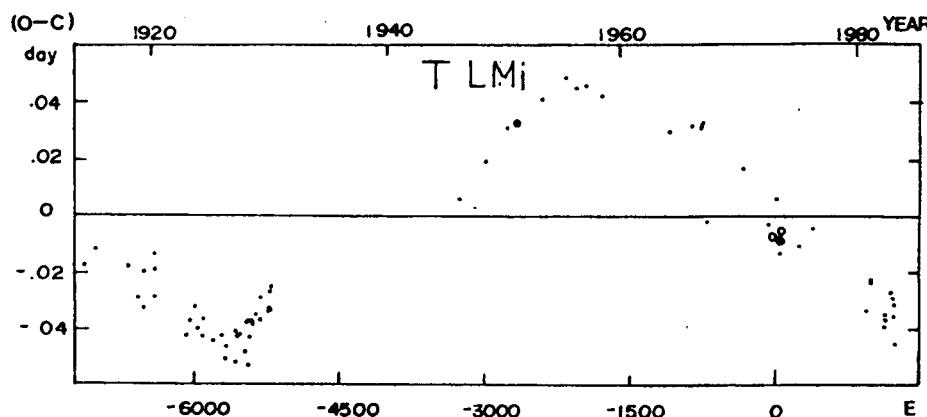


그림 1. 새로 구한 광도요소에 의한 T LMi의 (O-C)도

표 I. T LMi의 극심시각

No.	Julian day	Epoch	(O - C)	Method	Ref.
1	242 0271.701	- 7104	- .018	vi	1
2	0573.698	- 7004	- .012	vi	1
3	1627.642	- 6655	- .018	vi	1
4	1899.423	- 6565	- .030	vi	1
5	2041.355	- 6518	- .034	vi	1
6	2053.448	- 6414	- .020	vi	1
7	2361.485	- 6412	- .014	vi	1
8	2370.530	- 6409	- .029	vi	1
9	2382.619	- 6405	- .020	vi	1

→

No.	Julian day	Epoch	(O - C)	Method	Ref.
10	3409.367	- 6065	- .043	vi	1
11	3436.551	- 6056	- .038	vi	1
12	3732.508	- 5958	- .032	vi	1
13	3738.540	- 5956	- .040	vi	1
14	3850.274	- 5919	- .043	vi	1
15	3856.320	- 5917	- .037	vi	1
16	4173.403	- 5812	- .045	vi	1
17	4472.376	- 5713	- .043	vi	1
18	4620.344	- 5664	- .051	vi	1
19	4638.468	- 5658	- .047	vi	1
20	4922.343	- 5564	- .044	vi	1
21	4940.464	- 5558	- .042	vi	1
22	4946.494	- 5556	- .052	vi	1
23	4949.523	- 5555	- .043	vi	1
24	5242.448	- 5458	- .049	vi	1
25	5245.479	- 5457	- .038	vi	1
26	5375.320	- 5414	- .054	vi	1
27	5378.350	- 5413	- .044	vi	1
28	5399.495	- 5406	- .038	vi	1
29	5571.632	- 5349	- .036	vi	1
30	5698.467	- 5307	- .038	vi	1
31	5707.534	- 5304	- .030	vi	1
32	5979.329	- 5214	- .028	vi	1
33	6000.470	- 5207	- .026	vi	1
34	6003.483	- 5206	- .033	pg	1
35	6027.642	- 5198	- .033	vi	1
36	6030.662	- 5197	- .033	vi	1
37	31907.454	- 3251	.006	vi	1
38	2671.506	- 2998	.020	vi	1
39	3405.356	- 2755	.031	vi	1
40	3758.688	- 2638	.033	vi	1
41	4480.456	- 23992	.041	vi	1
42	5223.362	- 2153	.049	vi	1
43	5552.528	- 2044	.044	vi	1
44	5848.481	- 1946	.045	vi	1
45	6307.505	- 1794	.042	vi	1
46	243 8430.487	- 1091	.025	vi	1
47	9179.433	- 843	.032	vi	1
48	9212.651	- 832	.031	vi	1
49	9230.771	- 826	.031	vi	3
50	9529.709	- 727	- .002	vi	1
51	40695.415	- 341	.017	vi	1
52	1450.373	- 91	- .003	vi	3
53	1637.617	- 29	.006	vi	3

→

No.	Julian day	(O - C)	Method	Ref.
54	1725.1811	0	- .0075	pe
55	1743.302	6	- .006	vi
56	1746.329	7	.001	vi
57	1764.435	13	- .013	vi
58	2033.2115	102	- .0083	pe
59	2042.2719	105	- .0077	pe
60	2404.659	225	- .010	vi
61	2827.453	365	- .004	vi
62	4533.675	930	- .034	vi
63	4636.363	964	- .023	vi
64	4675.621	977	- .024	vi
65	5101.415	1118	- .038	vi
66	5104.433	1119	- .040	vi
67	5104.437	1119	- .036	vi
68	5273.561	1175	- .027	vi
69	5385.295	1212	- .030	vi
70	5397.368	1216	- .036	vi
71	5400.392	1217	- .032	vi
72	5403.398	1218	- .046	vi

$$(O - C); \text{Min I} = \text{J.D. } 2441725.1886 + 3.0199141 \times E$$

References

- 1. Okazaki(1977)
- 2. Okazaki and kitamura(1974)
- 3. Publications of the observatory at Appalachian state university Vol. I, Part I, October 1981.
- 4. BBSAG, No. 52(1980)
- 5. BBSAG, No. 60 (1982)
- 6. BBSAG, No. 63(1982)
- 7. BBSAG, No. 65(1983)

III. 궤도요소

Okazaki(1977)의 광전관측(V와 B)을 Wilson and Devinney(1971, 이 후 WD라 함)의 differential correction program을 이용하여 T LMi를 동시에 분석하였다. 먼저, Okazaki의 관측점(V: 114점, B: 111점)을 WD모델에 적용하기 위하여 V와 B를 각각 62개와 63개의 대표점으로 만들었다. 한편, 이러한 대표점들은 대표점을 만든 초기의 관측치의 갯수에 따라 가중치(weight)를 주었다.

WD모델에 적용되는 기본적인 인자들은 이미 오(1986)에 밝힌 바가 있다. 한편, WD모델에 적용하기 위한 초기의 입력치는 Okazaki의 궤도요소를 채택하였다. 그리고 초기의 입력치 가운데 다음의 값들은 고정(fix)하였다 : 주성의 온도(T_1)는 Hill *et al.*(1975), Struve(1946), Hil-

ditch and Hill(1975), 그리고 Okazaki(1977)로부터 $T_1 = 9640^{\circ}\text{K}$ 로 고정하였다. 한편, 주성과 반성의 주변감광계수(x_1 과 x_2 는 V에서 $x_1 = 0.488$ 과 $x_2 = 0.724$ 그리고 B에서 $x_1 = 0.591$ 과 $x_2 = 0.850$)를 적용하였다(Carbon and Gingerich 1969). 그러나 이러한 주변감광계수는 몇 차례의 수정을 수행한 후 반성의 감광계수만을 고정하였다. 중력감광계수는 주성은 복사대기로 가정하여 $g_1 = 1$ 로, 반성은 주계열로부터 상당히 진화되어 Roche lobe를 채우고 있는 것으로 나타나고 있기 때문에(Kopal and Shapley 1956, Okazaki 1977) convective envelope로 가정하여 $g_2 = 0.32$ (Lucy 1967)로 고정하였다. 한편, 주성의 bolometric albedo를 $A_1 = 1$ 로 고정하였다. 초기의 입력인자들이 결정된 후 다음의 인자들을 수정하였다: 궤도기울기(i), 주성의 표면포면률(Ω_1), 반성의 온도(T_2), 두 별의 질량비($q = M_2 / M_1$), 반성의 bolometric albedo(A_2), 그리고 주성의 밝기($L_1(V)$, $L_2(B)$). 한편, WD모델의 mode 5(Leung and Wilson, 1977)를 적용하였다.

WD모델을 사용하여 얻은 최종적인 T LMi의 궤도요소를 표 II에 종합하였다. 한편, 그림 2에 표 II의 WD모델을 사용하여 얻은 궤도요소에 의한 T LMi의 이론적인 광도곡선과 Okazaki의 관측된 광도곡선과 비교하였다. 그림 2에서 이론적인 광도곡선과 관측된 광도곡선은 서로 잘 일치하고 있다. 표 III은 WD모델에 적용한 T LMi의 대표점들에 대한 위상과 규격화시킨 밝기와 대표점의 가중치를 수록하였다.

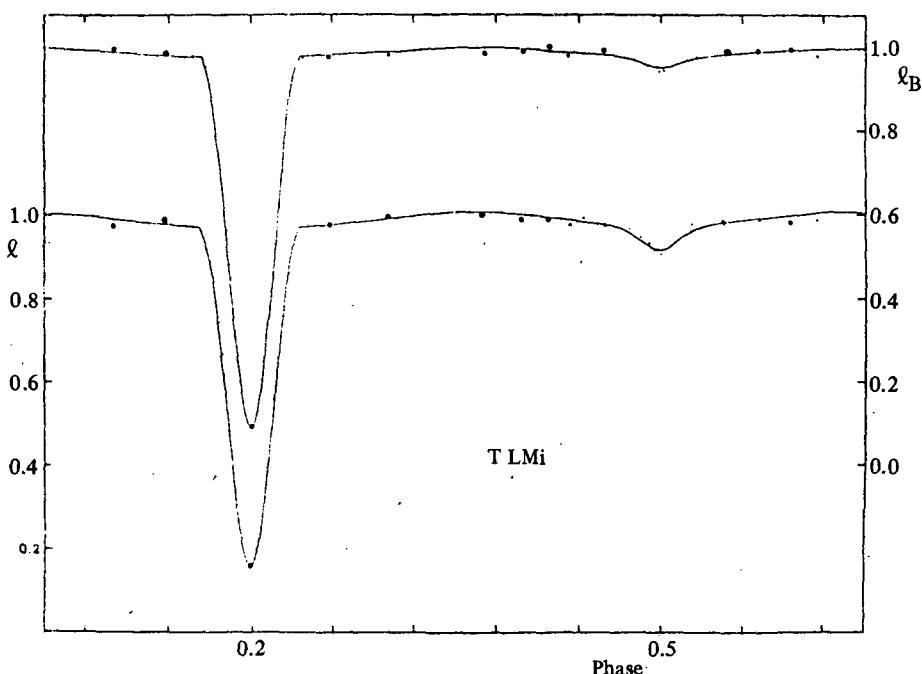


그림 2. T LMi의 광도곡선. 광도곡선의 가중치에 따른 대표점(•)과 Wilson and Devinney 모델의 이론적인 광도곡선(실선).

표 II. T LMi의 궤도요소

Wavelength-dependent Parameters		
Parameter	Yellow	Blue
$L_1/(L_1 + L_2)$	$0.8799 \pm 0.0640\text{p.e.}$	$0.9382 \pm 0.0455\text{p.e.}$
x_1	0.436 ± 0.044	0.814 ± 0.031
x_2	0.724^*	0.850^*

Non-wavelength-dependent Parameters		
i	85.656 ± 0.076	
Ω_1	6.4794	0.0174
Ω_2	2.0334^*	
g_1	1.00^*	
g_2	0.32^*	
A_1	1.00^*	
A_2	0.538 ± 0.124	
T_1	9640°K^*	
T_2	$4704 \pm 44^\circ\text{K}$	
$q = (m_2/m_1)$	0.12503 ± 0.00082	
$r_1(\text{pole})$	0.1573 ± 0.0004	
$r_1(\text{side})$	0.1577 ± 0.0004	
$r_1(\text{back})$	0.1578 ± 0.004	
$r_2(\text{pole})$	0.2030 ± 0.0054	
$r_2(\text{side})$	0.2110 ± 0.0063	
$r_2(\text{back})$	0.2425 ± 0.0116	

* fixed

표 III. T LMi의 대표점

Yellow					
Phase	Int.	N	Phase	Int.	N
0.0006	0.1581	14	0.4946	0.9204	6
0.0061	0.1774	4	0.5025	0.9095	6
0.0078	0.2010	4	0.5197	0.9384	6
0.0105	0.2241	4	0.5404	0.9817	4
0.0123	0.2482	4	0.5788	0.9863	17
0.0147	0.2803	4	0.6226	0.9881	5
0.0172	0.3224	4	0.6609	0.9845	7
0.0191	0.3545	3	0.6932	0.9917	5
0.0214	0.4044	4	0.8348	0.9754	10
0.0238	0.4479	4	0.8968	0.9908	21

→

OH

Phase	Int.	N	Phase	Int.	N
0.0265	0.4898	3	0.9225	0.9772	7
0.0290	0.5598	3	0.9308	0.9754	7
0.0329	0.6298	5	0.9389	0.9701	4
0.0368	0.7132	4	0.9469	0.9204	3
0.0398	0.7586	2	0.9513	0.8904	4
0.0428	0.8076	6	0.9550	0.8519	3
0.0468	0.8630	5	0.9584	0.7900	4
0.0551	0.9489	4	0.9619	0.7447	5
0.0626	0.9727	5	0.9661	0.6674	4
0.0710	0.7970	4	0.9683	0.6189	3
0.0985	0.9799	14	0.9707	0.5754	4
0.1697	0.9982	8	0.9732	0.5258	7
0.2847	1.0028	13	0.9754	0.4866	3
0.3323	0.9899	10	0.9772	0.4389	8
0.3644	0.9936	17	0.9804	0.3685	6
0.3902	0.9781	6	0.9820	0.3414	3
0.4074	0.9954	6	0.9841	0.3062	5
0.4333	0.9781	12	0.9859	0.2694	5
0.4660	0.9665	3	0.9891	0.2251	5
0.4783	0.9506	3	0.9920	0.1925	6
0.4882	0.9350	4	0.9946	0.1687	4

Blue

Phase	Int.	N	Phase	Int.	N
0.0000	0.0944	12	0.5164	0.9550	6
0.0058	0.1138	5	0.5435	0.9790	5
0.0082	0.1351	4	0.5820	0.9927	21
0.0108	0.1669	4	0.6212	0.9908	9
0.0134	0.2063	2	0.6608	0.9982	13
0.0152	0.2285	3	0.6933	0.9790	5
0.0170	0.2573	3	0.8355	0.9982	14
0.0190	0.3113	4	0.8983	0.9872	19
0.0209	0.3448	2	0.9200	0.9799	4
0.0227	0.3837	3	0.9310	0.9801	12
0.0246	0.4196	4	0.9460	0.9518	4
0.0265	0.4643	3	0.9500	0.9129	3
0.0296	0.5316	4	0.9535	0.8598	4
0.0336	0.6281	4	0.9577	0.7907	4
0.0369	0.6742	3	0.9608	0.7461	4
0.0410	0.7734	9	0.9647	0.6662	5
0.0449	0.8402	3	0.6982	0.6098	3
0.0516	0.9290	4	0.9703	0.5531	5
0.0638	0.9754	6	0.9740	0.4835	5
0.0967	0.9794	10	0.9748	0.4512	4
0.1699	0.9799	4	0.9765	0.4111	5

→

Phase	Int.	N	Phase	Int.	N
0.2863	0.9854	13	0.9784	0.3743	5
0.3317	0.9917	11	0.9809	0.3221	4
0.3648	1.0046	12	0.9825	0.2852	4
0.3872	0.9790	4	0.9838	0.2638	2
0.4070	0.9881	6	0.9850	0.2362	3
0.4307	0.9917	11	0.9871	0.2006	3
0.4676	0.9719	4	0.9889	0.1757	4
0.4841	0.9568	5	0.9909	0.1502	2
0.4933	0.9550	6	0.9928	0.1261	4
0.4993	0.9428	5	0.9956	0.1046	3
0.5051	0.9454	6			

IV. 질량과 절대량

Struve(1946)는 분광관측에 의한 T LMi의 시선속도곡선으로부터 이 별의 mass function ($= 0.0049 M_{\odot}$)을 발표한 바 있으며, Okazaki(1977)도 분광관측으로부터 T LMi의 관측결과와 일치하는 결과를 얻은 바 있다. 그러나 지금까지 발표된 T LMi의 질량과 절대량에 관한 값들은 Kopal and Shapley(1956), Okazaki(1977), 그리고 Cester et al.(1979)에 의하여 발표되었으나 이들의 절대량들이 서로 일치하지 않고 있다. 따라서 이러한 T LMi의 질량과 절

표 IV. Absolute dimensions of T LMi

Physical quantity	Kopal and Shapley (1956)	Okazaki (1977)	Cester et al. (1979)	Present work
$\log T_1$ (°K)		3.98	3.98*	3.98
$\log T_2$ (°K)		3.71	3.54*	3.67
$m_1/m.$	0. 0.69	2.9	6.1	3.2
$m_2/m.$	0.15	0.39	0.6	0.4
$R_1/R.$	1.8	2.2	2.6	2.13
$R_2/R.$	2.1	2.8	3.5	2.84
$\log L_1/L.$			1.72	1.54
$\log L_2/L.$			0.87	0.54

* mean values

대량의 차이를 비교하기 위하여, Struve의 mass function과 우리가 구한 표 II의 궤도요소를 이용하고 다음의 관계식을 적용하여 T LMi의 질량과 절대량을 얻었다. 여기서 T LMi의 공전주기, $P = 3.0199141$ (day)를 r 은 r (side)를 적용하였다.

$$M_1 / M_{\odot} = f(M) (1 + q)^2 / q^3 \sin^3 i$$

$$M_2 = q M_1$$

$$R_1 / R_{\odot} = (74.55 (M_1 / M_{\odot}) (1 + q) P^2)^{\frac{1}{3}} r_1$$

$$R_2 = k R_1$$

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

표 IV에 지금까지 발표된 T LMi의 질대량과 이번 연구에서 얻은 질대량을 함께 비교하였다.

V. 검토와 결론

T LMi에 대하여 적용된 바가 없던 Wilson and Devinney(1971) 모델에 의한 differential correction 방법에 의하여 이 별의 궤도요소를 구하고 이로부터 이 별의 물리적 성질을 조사하였다.

표 IV에서 비교된 바와 같이 T LMi의 질대량은 발표자에 따라 서로 많은 차이를 보이고 있으나 이번 연구에서 얻은 결과는 Okazaki(1977)의 결과와 서로 일치하고 있다. 특별히 Kopal and Shapley(1956)에 의하여 발표된 두 별의 질량은 매우 작은 값으로 나타났으며, Cester et al.(1979)의 질량은 우리의 질량에 비교하여 매우 큰 값으로 나타났다. 이러한 차이점에 대하여 검토하여 보면, T LMi의 주성에 대한 분광형이 Struve(1946)는 AOV로 분류하였고 Hill et al.(1975)은 A3V로 분류하였다. 따라서 이러한 주계열성으로서 주성의 분광형에 따른 질량과의 관계를 Allen(1976)으로부터 비교하여 보면 Kopal and Shapley과 Cester et al.의 주성에 대한 질량은 주계열성으로서 분광형에 따른 질량과의 관계를 만족하지 않고 있다. 그러므로 이들이 발표한 주성과 반성의 질량을 이용하여 이 별의 물리적 성질을 조사한다는 것은 어려움이 있다. 한편, Kopal(1956, 1959, 1978)은 Struve(1946)의 mass function($= 0.0049 M_{\odot}$)과 Kopal and Shapley에 의하여 발표된 두 별의 질량이 매우 작다는 사실로부터 T LMi를 "R CMa"형으로 분류한 바 있다. 그러나 Struve에 의하여 발표된 이 별의 mass function이 비록 매우 작은 값으로 나타났으나 Kopal and Shapley의 발표 이후 표 IV에 비교된 바와 같이 두 별의 질량은 Kopal and Shapley의 값보다 모두 큰 값으로 나타났고 이번 연구에서도 이 별의 질량은 Kopal and Shapley의 값보다 큰 값으로 나타났다.

한편, Kopal(1959)은 T LMi를 포함하여 8개의 별들을 "R CMa"형으로 분류하였다. Kopal에 의하여 분류된 8개의 "R CMa"형 별들의 질대값과 이번 연구에서 얻어진 T LMi의 질대값으로부터 그림 3에 "R CMa"형의 질량-반경 관계를 조사하여 보았다. 그림 3에 나타난 바와 같이 이번 연구에서 조사된 T LMi는 Kopal에 의하여 분류된 "R CMa"형 식상성의 일반적인 질량-광도 관계와 서로 다른 형태로 나타나고 있다. 그림 3에서 원의

형태로 나타난 것은 Kopal에 의하여 알려진 “R CMa” 형 식쌍성들이며 네모의 형태로 나타낸 것은 이번 연구에서 얻은 T LMi이다. 또한, 까만 점은 주성을, 흰점은 반성을 나타낸다. 결론적으로 T LMi를 “R CMa” 형으로 분류한다는 것은 재검토가 있어야 하겠다.

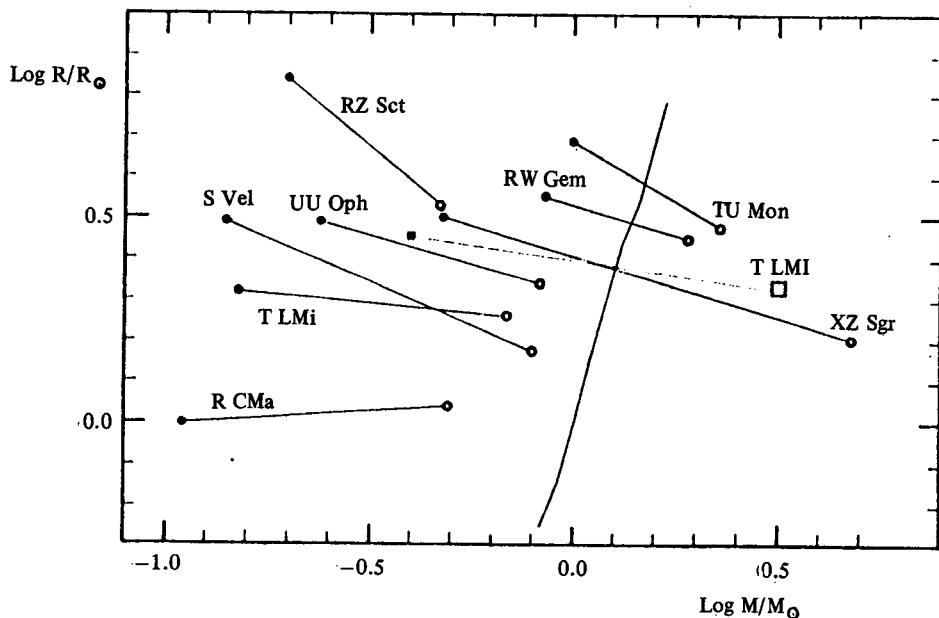


그림 3. R CMa 형 식쌍성의 질량-반경 관계

끝으로, 이러한 결과를 뒷받침하기 위하여서는 T LMi의 보다 좋은 시선속도의 관측이 절실히 요구되며, 이로부터 differential correction에 의한 simultaneous fitting method로 분석이 있어야 할 것이다.

이번 연구는 1986년도 전남대학교 학술연구조성비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 오규동, 1986, 한국우주과학회지, 3, 41.
- Allen, C. W., 1976, *Astrophysical Quantities*, Corree. 2nd ed.(Athlone Press: London).
- Biermann, P. and Hall, D. S., 1973, *Astron. Astrophys.*, 27, 249.
- Carbon, D. F. and Gingerich, O., 1969, *Theory and Observations of Normal Stellar Atmospheres*, O, Gingerich, ed.(MIT Press: Cambridge).
- Cester, B., Giuricin, G., Mardirossian, F., Mezzetti, M. and Milano, L., 1977, *Astron. Astrophys. Suppl.*, 36, 273.
- Hilditch, R. W. and Hill, G., 1975, *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 79, 101.
- Hill, G., Hilditch, R. W. Younger, F. and Fisher, W. A., 1975, *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 79, 131.
- Kopal, Z., 1956, *Ann. Astrophys.*, 19, 298.
- Kopal, Z., 1959, *Close Binary Systems*(London: Chapman and Hall).
- Kopal, Z., 1978, *Dynamics of Close Binary Systems*(D. Reidel Publ. Co.: Holland).
- Kopal, Z. and Shapley, M. B., 1956, *Jodrell Bank Ann.*, 1, 141.
- Leung, K. C. and Wilson, R. E., 1977, *Astrophys. J.*, 211, 853.
- Lucy, L. B., 1967, *Zeit. Astrophys.*, 65, 89.
- McDiarmid, R.J., 1924, *Princeton Contr.*, 7, 43.
- Okazaki, A., 1977, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 29, 289.
- Ikazaki, A. and Kitamura, M., 1974, *Inform. Bull. Variable Stars*, No. 862.
- Pickering, E.C., 1907, *Astron. Nachr.*, 176, 297.
- Plavec, M. and Kratochvil, P., 1964, *Bull. Astron. Inst. Czech.*, 15, 165.
- Struve, O., 1946, *Astrophys. J.*, 104, 253.
- Wilson, R. E. and Devinney, E. J., 1971, *Astrophys. J.*, 166, 605.
- Wood, D. B., 1972, *A Computer Program for Modeling Non-Spherical Eclipsing Binary Systems*, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, U.S.A.