

## 근접쌍성 RZ Cas의 측광학적 연구

이 용 삼 · 권 수 진 · 정 장 해

충북대학교 천문우주학과

### A PHOTOMETRIC STUDY FOR A CLOSE BINARY RZ Cas

Y. S. Lee, S. J. Kwon, and J. H. Jeong

Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

e-mail: leeys@astro.chungbuk.ac.kr

(Received November 10, 1997; Accepted November 28, 1997)

#### 요 약

충북대학교 천문대에서 1991년 10월부터 1993년 3월까지 총 42일간 근접쌍성 RZ Cas의 광전측광 관측을 수행하여 *UBV* 광도곡선을 완성하였다. 제 1식심의 광도곡선으로부터 8개의 제 1식심시각 및 새로운 광도요소를 결정하였다. 우리의 광도곡선에서 제 1식심이 개기식임을 확인하였고, 개기식 지속시간이 평균 18.1분으로서 이 값은 약 0.001에 해당하는 값을 알았다. Wilson-Devinney 분석법을 사용하여 우리의 광도곡선과 Duerbeck & Hanel(1979)의 시선속도 곡선을 동시에 만족하는 RZ Cas의 측광 및 분광학적 해를 구하고 이 값으로부터 이 쌍성계의 절대량을 산출하였다.

#### ABSTRACT

New *UBV* Photometric observations for a close binary RZ Cas were obtained at the Chungbuk National University Observatory for 42 nights from October 1991 to March 1993, and standardized *UBV* light curves were constructed. From the primary light curves, the eight minimum times were determined by using a new light element. We confirmed the primary minimum was totality and derived the average duration was 18.1 minutes corresponding to 0.001. The photometric and spectroscopic solutions were calculated with the obtained light curves and the radial velocity curves of Duerbeck & Hanel(1979) by using Wilson-Devinney method. From these values, the absolute dimensions of this binary system were estimated.

#### 1. 서 론

식쌍성 RZ Cas ( $m_v = 6.3$ ,  $P = 1.419524755$ )는 반분리형 근접쌍성으로서, A2 V인 주성과 G5 IV인 반성으로 이루어져 있다. 1906년 Muller가 처음으로 변광을 발표한 이래 Dugan(1916), Huffer & Kopal(1951), Huffer(1955), Chambliss(1976), Lee & Lee(1977), Hegedus *et al.* (1992)의 광도곡선과 Duerbeck & Hanel(1979)의 시선속도곡선이 발표되었다. Kitamura & Nakamura(1987)는

이 쌍성계의 온도를  $T_h = 8800K$ 와  $T_c = 5000K$ 로 추정하였고, Chambliss(1976)는  $M_h = 1.75M_\odot$ ,  $M_c = 0.61M_\odot$ ,  $R_h = 1.45R_\odot$ ,  $R_c = 1.83R_\odot$ 을, Duerbeck & Hanel(1979)은  $M_h = 1.9M_\odot$ ,  $M_c = 0.65M_\odot$ ,  $R_h = 1.47R_\odot$ ,  $R_c = 1.84R_\odot$ 을, Nakamura *et al.* (1991)은  $M_c = 0.63M_\odot$ ,  $R_c = 1.80R_\odot$ 을 결정한 바 있다. 이들 모두는 고전적인 Russell-Merrill 방법을 사용하여 얻은 것이다. 우리는 이 연구에서 Wilson-Devinney 방법을 사용하여 이 계의 측광학적 해를 산출한 후, 수집한 분광관측 자료를 이용하여 분광학적 궤도요소와 절대량을 결정하고자 한다.

한편, 이 쌍성계는 불규칙적인 공전 주기 변화와 더불어 제 1식심 부분의 광도곡선의 형태가 변하고 있다. 특히 제 1식심에 대해, 부분식이라는 견해(Chambliss 1976, Huffer & Kopal 1951, Huffer 1955)와 개기식이라는 주장(Szafraniec 1960, Burke & Rolland 1966, Arganbright *et al.* 1988)이 분분하나, 확실히 규명되지 않았다. 따라서, 제 1식심 부분의 집중적인 관측을 통해 이 부분의 유형과 측광학적 특성을 살펴볼 것이다.

## 2. 측광관측과 광도곡선

충북대학교 천문우주학과와 35-cm Schmidt Cassegrain 반사망원경과 SSP-5 광전측광기를 사용하여 UBV 측광관측을 수행하였다. 1991년 10월부터 1992년 2월까지 22일 동안, 그리고 1992년 10월 21일부터 1993년 3월 4일까지 20일 동안 관측을 실시하여, 각 필터별로 1524점씩 총 4572점을 얻었다. 표준화 관측을 통해 결정한 표준화 상수를 사용하여 각 관측성들의 UBV 표준값을 결정하였다.

우리는 대기감광에 의한 효과를 보정하여 표준화된 UBV 광도곡선을 완성하였다. 그림 1은 RZ Cas의  $V$ ,  $(B-V)$ ,  $(U-B)$  색광도곡선이다. 그림 중, 위의 광도곡선은 1992년 관측점이고 아래 광도곡선은 1993년 광도곡선이다. 우리가 관측한 관측 자료 중에 12개의 제 1식심부분의 광도곡선을 살펴보면 그 중 9개의 광도곡선에서 개기식을 확인해 볼 수 있었고, 나머지 3개의 광도곡선 중에서 하나는 개기식이 아니고, 두 개는 관측점이 정밀하지 못해 개기식의 여부를 추정해 볼 수 없었다. 이 중 1992년 12월 3~4일의 광도곡선은 소백산 천문대에서 Stromgren 필터(*ubvy*)로 관측한 것이다.

우리가 얻은 총 12개의 제 1식심의 광도곡선 중 식부분의 자료가 비교적 많은 8개의 광도곡선으로부터 식심시각을 결정하여 표 1에 제시하였다. 문헌에서 수집한 식심시각과 우리가 결정한 식심시각을 사용하여  $(O-C)$ 도를 완성하고 이로부터 새로운 광도요소,

$$\text{Min } I = JD_\odot 2439025.3070 + 1.^d 19524755E \quad (1)$$

를 결정하였다. 이 광도요소를 사용하여 만든  $(O-C)$ 도를 보면  $(O-C)$ 값의 큰 변화가 보인다. RZ Cas의 주기는 변하는 상태이나  $(O-C)$ 도에서 규칙성을 발견하기가 어렵고 갑작스런 변화 (period jump)가 많다. 이와 같은 주기 변화 원인의 가능성은 Chambliss(1976)가 설명한 바와 같이, 쌍성계 내의 질량 이동과 각운동량의 변화로 생각할 수 있겠지만, 주기 변화의 원인을 보다 정확히 설명하기 위해서는 앞으로 지속적인 관측이 필요하다.

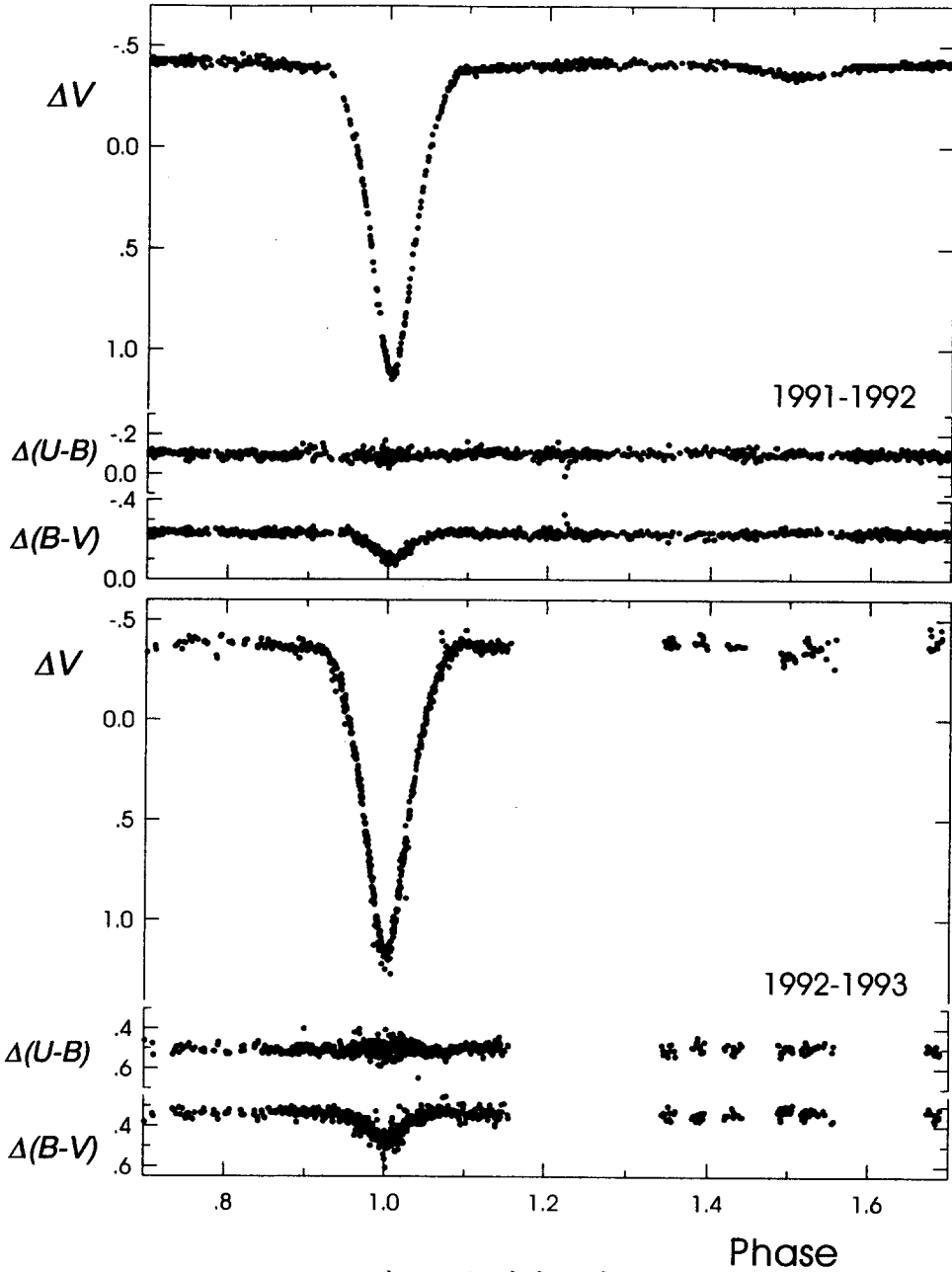


그림 1. RZ Cas의 광도곡선.

표 1. RZ Cas의 식심사각.

<i>JD Hel(2400000+)*</i>	<i>U</i>	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>E**</i>	<i>O - C**</i>
48544.2626	48544.2625	48544.2627	48544.2627	7963	0.00411
48550.2373	48550.2370	48550.2377	48550.2372	7968	0.00257
48623.1492	48623.1492	48623.1493	48623.1492	8029	0.00427
48953.0415	48953.0416	48953.0416	48953.0414	8306	0.00838
48970.9689	48970.9689	48970.9688	48970.9690	8321	0.00704
49008.0227	49008.0229	49008.0226	49008.0225	8352	0.00813
49023.1218	49003.1221	49003.1218	49033.1216	8364	0.00709
49051.0527	49051.0528	49051.0527	49051.0525	8388	0.00922

\* *UBV* 식심사각의 평균값. \*\* 우리가 구한 광도요소 식(1)을 사용하여 얻은 값.

### 3. 개기식 확인과 지속시간 결정

앞에서 제시한 바와 같이, RZ Cas의 제 1식심의 특성은 개기식 또는 부분식으로 많은 의견 차이가 있다. Huffer & Kopal(1951)과 Chambliss(1976)는 부분식의 가정하에 측광계도요소를 구한 바 있다. Hegedus(1989)는 개기식이 항상 일어나는 것은 아니라고 발표한 바 있으므로 Huffer & Kopal(1951)의 광도곡선 발표 이래 제 1식심의 광도곡선의 모습은 항상 일정하지 않은 것으로 여겨진다. 우리의 광도곡선에서 관측점이 정밀하지 못한 날들을 제외하고 9개의 광도곡선에서 개기식 현상을 살펴볼 수 있다.

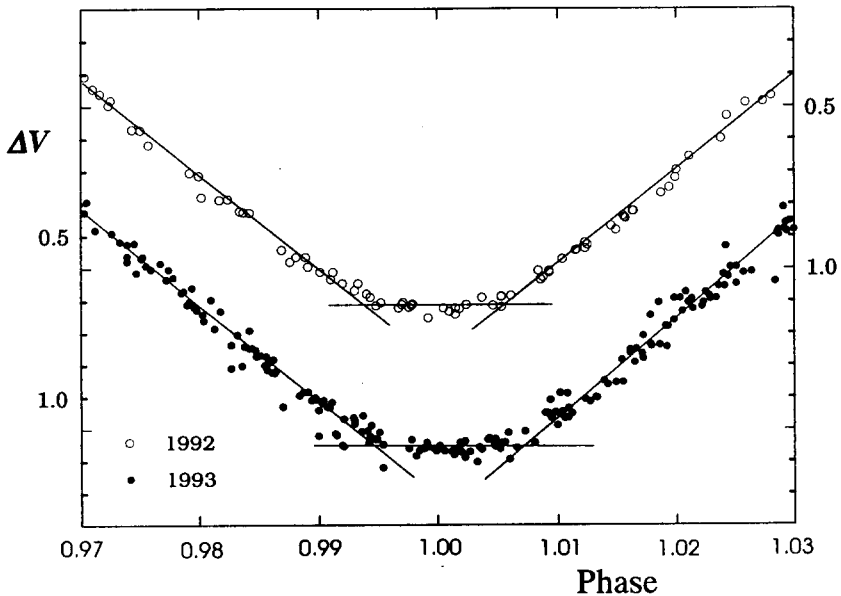


그림 2. 1992년과 1993년 관측한  $\Delta V$  광도곡선.

표 2. 제 1식심의 개기식 지속시간.

Time of minimum (JD <sub>☉</sub> 2400000+)	Total eclipse duration		
	in U	in B	in V
48574.1450	.	.	17.1
48623.1492	.	.	17.1
48641.1790	.	.	17.6
48953.0415	18.2	19.8	19.4
48970.9690	18.0	18.5	17.1
49008.0227	17.3	18.2	20.2
49033.1218	14.2	17.6	18.0
49051.0527	17.1	16.2	18.0
mean value	17.0	18.1	18.0

우리 광도곡선의 제 1식심 부분 인 0<sup>m</sup>97 ~ 1<sup>m</sup>03 부분을 확대한 V 광도곡선을 그림 2에 제시하였다. 이 그림에서 열린 원은 1992년의 광도곡선이고, 닫힌 원은 1993년의 것이다. 광도곡선 모두에서 개기식을 보이고 있으며, 특히 1993년의 광도곡선에서는 관측점들이 더 많아 개기식 현상이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. 적어도 우리가 관측한 기간에 RZ Cas의 제 1식심은 개기식 상태를 확인할 수 있었다. Hegedus(1989)가 언급한 바와 같이 우리의 경우도 V 광도곡선에서 그 특성이 가장 명확하게 나타났다. 이를 토대로 UVB 광도곡선에서 결정한 제 1식심 지속시간의 평균값은 표 2에 정리한 바와 같이 17.0분, 18.1분, 18.0분이다.

이제까지 RZ Cas가 개기식이라고 발표된 자료를 수집하여 얻은 개기식 지속시간과 우리의 광도곡선에서 얻은 값을 포함하여 식심시각의 변화에 따른 지속시간의 변화를 그림 3에 나타내었다. 여기서 검은 점(●)으로 표시한 우리의 값의 평균은 약 18.1분이며, 이 값은 0<sup>m</sup>01에 해당한다. 지속시간의 변화는 공전 주기의 변화와 마찬가지로 불규칙하나 그 양상은 대체로 비슷하다. 즉 주기의 변화와 개기식 지속시간의 변화는 서로 일종의 상관관계를 가지고 있는 것으로 추정된다.

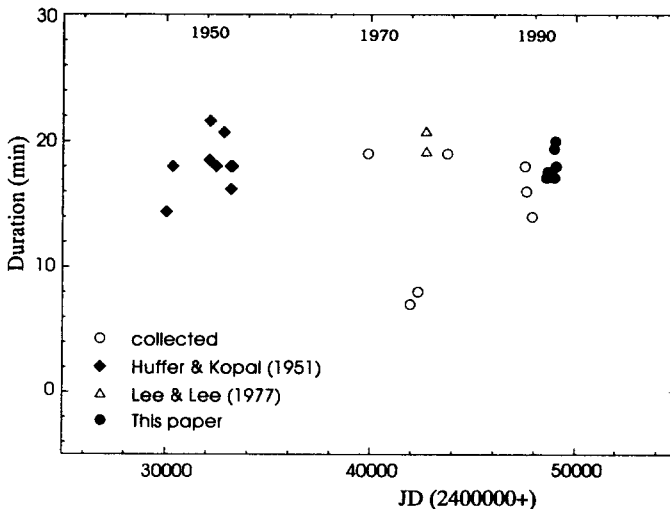


그림 3. 개기식 지속시간의 변화.

표 3. RZ Cas의 광도곡선과 시선속도곡선의 해.

parameter	Chambliss (1976)	Duerbeck & Hanel (1979)	Kitamura & Nakamura (1987)	Hegedus <i>et al.</i> (1992)	This paper
$q$	0.35				$0.46 \pm 0.02$
$T_1$ (K)	9700		8800		8800
$T_2$ (K)	5000		5000		$4380 \pm 10$
$\Omega_1$					$4.548 \pm 0.036$
$\Omega_2$					2.852
$i$	81.7		81.2	81.6	$81.22 \pm 0.12$
$L_1(U)$					$0.986 \pm 0.005$
$L_1(B)$	0.950		0.925		$0.967 \pm 0.008$
$L_1(V)$	0.930		0.877	0.93	$0.930 \pm 0.012$
$L_2(U)$					$0.014 \pm 0.005$
$L_2(B)$	0.050		0.075		$0.033 \pm 0.008$
$L_2(V)$	0.070		0.123	0.07	$0.070 \pm 0.012$
$r_1$ (pole)					$0.245 \pm 0.002$
$r_1$ (point)					$0.251 \pm 0.002$
$r_1$ (side)	0.243		0.238	0.24	$0.247 \pm 0.002$
$r_1$ (back)					$0.250 \pm 0.002$
$r_2$ (pole)					$0.289 \pm 0.002$
$r_2$ (point)					$0.413 \pm 0.002$
$r_2$ (side)	0.287		0.289	0.28	$0.300 \pm 0.002$
$r_2$ (back)					$0.332 \pm 0.002$
$e$					$0.021 \pm 0.007$
$m_1(m_\odot)$	1.75	1.9			1.01
$m_2(m_\odot)$	0.61	0.65			0.46
$a(R_\odot)$					$5.4 \pm 1.4$
$R_1(R_\odot)$	1.45	1.47			1.33
$R_2(R_\odot)$	1.83	1.84			1.62

#### 4. 광도곡선과 시선속도 곡선의 분석

종전의 발표된 RZ Cas의 물리적 요소들은 부분식을 적용한 Russell-Merrill의 고전적인 방법을 사용하여 왔으나, 우리는 더 개선된 광도곡선의 해와 절대량을 결정하고자 광도곡선과 시선속도곡선을 동시에 계산할 수 있는 Wilson-Devinney 방법을 사용하였다. *UBV* 파장별로 각각 90개의 대표점을 만들었고, 이 대표점들을 사용하여 RZ Cas의 측광계도요소를 구하였다. 중력감광계수는  $g_h = g_c = 1.0$ 을 적용하였고, 주성의 온도  $T_h$ 는 8,800K(Kitamura & Nakamura 1987)로, 주연감광계수는 주성과 반성에 대해 각각 0.61, 0.70으로 고정하였다. 수정인자들은 장반경  $a$ , 계도평균속도  $V_r$ , 계도경사각  $i$ , 반성의 온도  $T_h$ , 주성의 포텐셜  $\Omega_h$ , 질량비  $q$ , 주성의 밝기  $L_h$  등이다. 여기서 우리는 적절한  $q$  값을 찾기 위해 Leung(1988)의  $q$ -search 방법을 사용하였고, 과거에 알려진(Chambliss 1976)  $q=0.35$ 와는 달리  $q=0.46$ 을 새롭게 얻었다. 이  $q$  값과 최종적으로 결정한 광도곡선의 해를 표 3에 정리하였다. 이 결과를 가지고 계산한 RZ Cas의 이론적 광도곡선을 그림 4에 실선으로 표시하였고, 계산에 사용한 관측값의 대표점(normal points)은 검은 점( $\bullet$ )으로 표시하였다. 이 그림에서  $U$  필터의 제 2식심 부분을 제외하고는 대체로 잘 일치하고 있다.

RZ Cas의 절대량을 산출하기 위해 우리의 *UBV* 광도곡선과 시선속도곡선을 동시에 사용하는 WD 분석방법으로 분석하였다. 시선속도곡선은 Duerbeck & Hanel(1979)의 자료를 사용하였는데, 이 시선속도곡선은 주성에 비하여 반성이 너무 어둡기 때문에 주성의 시선속도곡선만 관측된 단선(single lines) 시선속도곡선이다. 이들의 관측점과 이론적인 시선속도곡선을 그림 5에 함께 그려 서로 비교하였다. 이 그림에서 검은 점(●)과 짧은 점선은 Duerbeck & Hanel(1979)에 의한 것이고, 실선과 긴 점선은 우리가 계산한 주성과 반성의 시선속도곡선이다. 우리의 곡선은 이 쌍성계의 자전과 공전, 타원체 효과, 반사 효과, 중력감광 효과 등을 보정하여 W-D 방법으로 계산한 이론적인 시선속도곡선이다. 짧은 점선으로 표시한 Duerbeck & Hanel(1979)의 sine 곡선은 식을 벗어난 위상에서는 관측점들과 비교적 잘 일치하고 있으나, 식 전후의 위상인 0.0 부근에서는 관측점들과 다소 차이를 보이고 있다. 그러나, 우리의 이론 곡선은 관측점들과 더 잘 근접함을 보이고 있다. 관측한 RZ Cas의 *UBV* 광도곡선과 주성의 시선속도곡선을 혼합한 입력 자료를 이용하여 우리의 적절한 질량비( $q = 0.46$ )와 그 외의 수정인자들을 사용, 차등 보정 방법을 통해 측광 및 분광계요소 및 절대크기를 함께 산출하였다. 표 3에 RZ Cas의 계요소 및 절대량을 수록하였고 발표된 다른 값들과 비교하였다. 표시한 반경의 값은 side 반경이다. RZ Cas의 절대크기를 이 쌍성계의 Roche lobe와 함께 그려 그림 6을 만들었다. 이 계는 반분리형 근접쌍성계로서, 주계열 (A2 V)인 주성과 준거성 (G5 IV)인 반성으로 구성되며, 반성은 Roche lobe를 채우고 있다. 이 쌍성계가 계속 진화할 경우, 임계포텐셜면을 꼭 채우고 있는 반성의 표면이 주계열인 주성으로 질량 이동하는 진화가 계속될 것이며 질량 이동물에 따라 주기의 변화가 불규칙적으로 일어날 것이다.

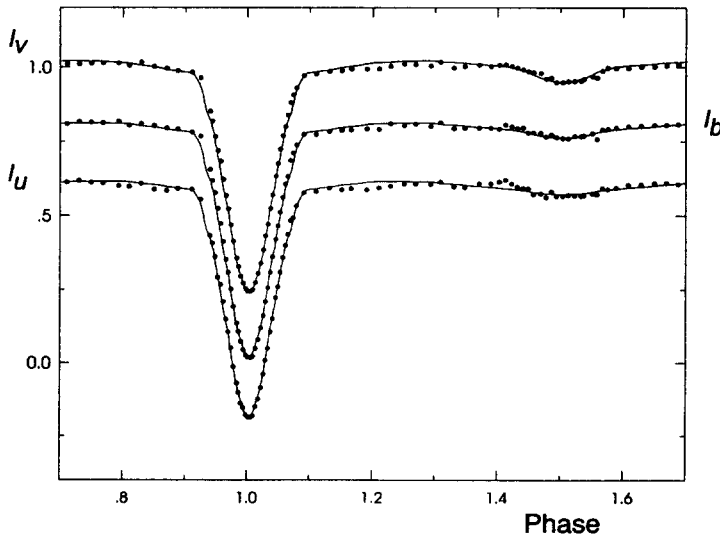


그림 4. RZ Cas의 관측점과 이론곡선. 각 점은 관측으로, 실선은 계산으로부터 얻은 이론적 광도곡선이다.

## 5. 결과 및 토의

이 연구를 통하여 RZ Cas의 *UBV* 광전관측을 수행하고, 표준화된 *UBV* 광도곡선을 완성하였다. 8개의 제 1식심시각을 계산하였고 새로운 광도요소를 결정하였다. 우리의 광도곡선은 제 1식심이 개기식임을 확실하게 보이고 있으며 Hegedus(1989)가 언급한 바와 같이 *V*에서 그 특성이 가장 명확하다. 식심시각의 변화에 따른 개기식 지속시간의 변화를 도식화하였고, 이로부터 평균 18.1분의 값을 얻었으며 이 값은 약 0.01에 해당하는 결과이다. 개기식 지속시간의 변화와 공전주기의 변화사이에는 상호 상관관계가 있는 것 같다. Duerbeck & Hanel(1979)이 발표한 시선속도  $V_r$ 를 수정 인자에 포함시킨 후 Wilson-Devinney 분석 방법을 사용하여 측광계도요소와 분광계도요소를 동시에 계산하였다. 우리가 구한 광도곡선의 측광요소 중 반성의 온도  $T_2$ 는 이제까지 발표된 것과는 상이하다. 앞으로 제 1식심의 측광관측을 지속적으로 수행하여 제 1식심 형태의 변화와 이 쌍성계의 주기 변화와의 관계를 살펴볼 필요성을 갖는다.

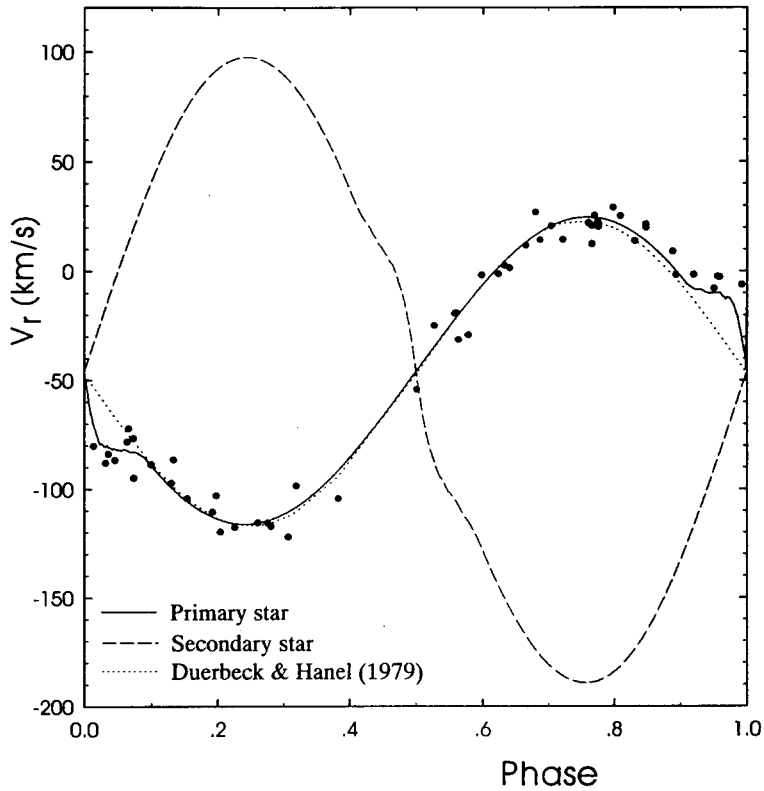


그림 5. RZ Cas 시선속도곡선.



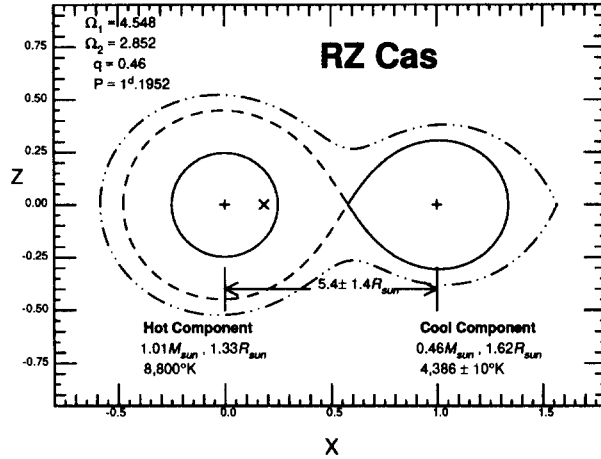


그림 6. RZ Cas의 형태와 절대크기.

감사의 글: 이 연구는 교육부 연구비 BSRI-96-5426의 일부 지원과 한국표준과학연구원 천문대 연구비의 일부 지원으로 완성되었습니다. 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- Arganbright, D. V., Osborn, W. & Hall, D. S. 1988, IBVS 3224  
 Burke, E. W. & Rolland, W. W. 1966, AJ, 71, 38  
 Chambliss, C. R. 1976, PASP, 88, 22  
 Drake, S. A., Simon, T. & Linsky, J. L. 1986, AJ, 91, 1229  
 Duerbeck, H. W. & Hanel, A. 1979, A&AS, 38, 155  
 Dugan, R. S. 1916, Contr. Princeton University Obs. No.4, p.94  
 Hegedus, T. 1989, IBVS 3381  
 Hegedus, T., Szatmary, K. & Vinko, J. 1992, Ap&SS, 187, 57  
 Huffer, C. M. 1955, ApJ, 71, 38  
 Huffer, C. M. & Kopal, Z. 1951, ApJ, 114, 279  
 Kitamura, M. & Nakamura, Y. 1987, Ann. Tokyo Astron. Obs., 2nd Series, 21, 4  
 Lee, Y. S. & Lee, Y. B. 1977, Pub. of Korean National Astro. Obs., 2, 27  
 Leung, K. C. 1988, Critical Observations vs. Physical Models for Close Binary System, ed. K. C. Leung (Gordon and Breach: New York), p.93  
 Nakamura, Y., Narusawa, S. & Kamada, M. 1991, IBVS 3641  
 Szafraniec, R. 1960, AcA, 10, 99