

## 맥동 식쌍성 Y Cam의 ROCHE 모형과 절대 물리량

이재우<sup>1,2†</sup>, 김천휘<sup>1</sup>, 김승리<sup>2</sup>, 윤재혁<sup>2</sup>, 권순길<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>충북대학교 천문우주학과, <sup>2</sup>한국천문연구원

### ROCHE MODEL AND ABSOLUTE DIMENSIONS OF THE ECLIPSING BINARY Y CAM WITH A PULSATING COMPONENT

Lee, J. W.<sup>1,2†</sup>, Kim, C. -H.<sup>1</sup>, Kim, S. -L.<sup>2</sup>, Youn, J. -H.<sup>2</sup>, Kwon, S. -G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Astronomy & Space Science, Chungbuk National University, CheongJu 361-763, Korea

<sup>2</sup>Korea Astronomy Observatory, Daejon 305-348, Korea

E-mail: jwlee@ast.chungbuk.ac.kr

(Received August 3, 2002; Accepted August 31, 2002)

#### 요 약

2000년 11월부터 2001년 5월까지 총 16일간 맥동 식쌍성 Y Cam을 소백산천문대의 61cm 망원경에 부착된 단일 V 필터로 CCD 측광을 수행하였다. 새롭게 얻은 V 광도곡선과 Broglia & Marin(1974)의 BV 광도곡선을 Wilson-Devinney 방법의 Mode 2(분리형)와 Mode 5(준분리형)으로 분석하였다. 분석 결과는 다음과 같다. 1) 광도곡선 분석만으로는 분리형과 준분리형의 Roche 모형 중 어느 것이 Y Cam의 진실한 Roche 모형인가를 가려낼 수가 없다. 2) Y Cam의 B 광도곡선에는 삼체의 광도가 약 2%, V 광도곡선에는 약 3% 존재한다. 3) Y Cam의 주성에서 발생하는 맥동에 의한 밝기 변화는 광도곡선 해에 거의 영향을 주지 않으나, 맥동을 고려하였을 경우 분리형 모델이 준분리형 모델보다 약간 더 관측치를 잘 맞춘다. 4) 분리형과 준분리형 각각에 대해 Y Cam의 절대물리량을 계산하였다.

#### ABSTRACT

We performed CCD photometric observations of the eclipsing binary Y Cam with a pulsating component, for 16 nights from November 2000 to May 2001 using a V filter attached to the 61-cm reflector at Sobaeksan Optical Astronomy Observatory. Our V light curve and Broglia & Marin's (1974) BV ones were analyzed with Mode 2 for a detached Roche model as well as Model 5 for a semi-detached one in the Wilson-Devinney code. From the analysis, we found the following results: 1) It is hardly discernible from only light curve synthesis which model between the detached and semi-detached ones is a real Roche model of Y Cam. 2) There exist the third light of about 2% and 3% in B and V light curves of Y Cam, respectively. 3) The light curve solution is immune from the light variation due to the pulsation of the primary component of Y cam. However, the detached model rather than the semi-detached one has slightly better fitted to the observations which were get rid of the pulsation effect. 4) The absolute dimensions of Y Cam were calculated for two Roche models.

*Key words:* eclipsing binary, photometry, Roche model, absolute dimension

<sup>†</sup>corresponding author

## 1. 서 론

Y Cam(BD +76° 286, HIP 37440)은 분광형이 A9IV-V+K이고, 주기가 약 3<sup>d</sup>.306인 알골형 식쌍성계로 Ceraski(1903)에 의해 최초로 발견되었다. 이 쌍성계의 광전관측에 의한 *BV* 광도곡선은 Broglia & Marin(1974)과 Broglia & Conconi(1984)에 의해 완성되었다. Broglia & Marin은 질량이 크고 온도가 높은 별(이하 주성이라 약함)이 0<sup>d</sup>.064의 주기를 갖는  $\delta$  Sct형 맥동변광성임을 밝혔다. 그 이후, Broglia & Conconi는 주성의 맥동 성분이 약 0<sup>d</sup>.066과 0<sup>d</sup>.068의 이중 주기를 갖고 있으며, 비방사상 맥동을 한다고 주장하였다. 한편, Struve *et al.*(1950)은 주성의 분광형을 A7V로 분류하고, 단지 4점의 단선분광관측을 수행하여 분광계도요소를 산출하였다. 그 후에 Breger & Smith(Broglia & Marin 1974)은 Struve *et al.*의 스펙트럼을 재분석하여 주성의 분광형을 A9IV로 재분류하였다.

광도곡선 분석연구는 Broglia & Marin, Mezzetti *et al.*(1980) 그리고 Broglia & Conconi에 의해 수행되었다. Broglia & Marin은 그들의 *BV* 광도곡선을 Russell-Merrill 방법으로 분석하여 질량비( $q=0.21$ )와 절대 물리량( $M_1=2.4M_\odot$ ,  $M_2=0.5M_\odot$ ,  $R_1=3.0R_\odot$ ,  $R_2=2.9M_\odot$ )을 산출하고, 두 성분 별의 분광형을 각각 A9V와 K0로 분류하였다. Mezzetti *et al.*은 Broglia & Marin의 *BV* 광도곡선을 WINK 모델(Wood 1971)로 분석하여 이 쌍성계를 반성이 Roche 로브를 채운 준분리형 쌍성으로 분류하였고, 질량비를 0.24으로 정하였다. 또한, 그들의 측광해와 Struve *et al.*의 질량함수를 이용하여 이 쌍성계의 질량( $M_1=1.7M_\odot$ ,  $M_2=0.4M_\odot$ )과 반경( $R_1=2.92R_\odot$ ,  $R_2=2.95R_\odot$ )을 산출하였다. 반면, Wilson-Devinney(Wilson & Devinney 1971, 이하 WD라 약함) 쌍성 모형을 이용하여 Broglia & Conconi는 Y Cam을 질량비가 0.35이고 궤도경사각이 86°인 분리형 쌍성의 해를 얻었다. 한편, Budding(1985)은 이 쌍성계를 질량비가 0.22이고, 반성이 Roche 로브를 채운 준분리형 쌍성으로 분류하였다.

Y Cam의 공전주기 변화에 대한 연구는 Dugan(1924)이 그 변화를 처음으로 제안한 이후, Szczepanowska(1955), Broglia & Marin, Broglia & Conconi, Mossakovskaya(1993), 그리고 Borkovits & Hegedüs(1996)에 의해 수행되었다. Broglia & Marin와 Broglia & Conconi은 Y Cam의 궤도 공전 주기가 2개 sine 곡선의 중첩으로 주기변화를 겪고 있다고 주장하였다. Broglia & Conconi은 이러한 변화의 원인을 3체와 4체에 의한 광시간 효과나, 혹은 3체와 근성점 이동의 중첩에 의한 효과로 제안하였다. 그러나, Y Cam계에 제안된 3체와 4체의 최소질량은 각각 1.7 $M_\odot$ 와 6.7 $M_\odot$ 으로 이 별들이 주계열성이라면, 광도곡선 분석으로 부터 그 천체들의 광도가 쉽게 검출되어야 함에도 불구하고, 위에서 언급한 전체 광도( $l_1 + l_2 + l_3$ )에 대해 약 2.5% 정도의 제3광도(third light,  $l_3$ )만이 그들의 연구에서 검출되었을 뿐이다. 이에 대해 Mossakovskaya는 질량이 큰 제4천체를 상대론적 천체로 해석한 반면, Borkovits & Hegedüs는 Y Cam계에 제안된 외부 천체들의 존재가능성이 적다고 제안하였다.

이상에서 살펴본바와 같이, 알골형 식쌍성 Y Cam은 주성이 이중 맥동 주기를 갖는  $\delta$  Sct형 변광성으로 알려진 복잡한 식쌍성으로 여러 연구자들에 의해 구해진 측광학적 해와 천문학적 기본 변수값들이 상호불일치 한다. 특히, Y Cam의 로쉬모형은 분리형과 준분리형의 두 종류가 제안된 상태이며, 질량비도 0.2에서 0.4의 넓은 범위 내에 분포하고 있다. 이 연구는 Y Cam에 존재하는 이러한 혼동을 해결하는데 일조를 하기 위하여 기존에 발표된 광도곡선을 개선된 WD 쌍성 모형(Wilson 1992)을 이용하여 재분석함과 동시에, 이 연구에서 관측한 *V* 광도곡선으로부터 맥동 현상을 소거한 후 광도곡선 해를 고려하였고, 광도곡선 해를 산출할 때 Struve *et al.*의 분광시선곡선도 포함시켰다. 제2장

표 1. Y Cam의 관측된 극심시각.

극심시각(HJD)	필터	형태
2451887.3300 ±2	V	I
2451945.1905 ±9	V	II
2452003.0314 ±1	V	I

에 관측과 극심시각에 대해 논의하며, 제3장은 광도곡선의 분석을 다루었으며, 분광시선속도 곡선과 Y Cam의 절대량은 제4장에서 논의하였으며, 제5장은 이 연구의 요약과 논의를 담고 있다.

## 2. 관측과 극심시각

Y Cam의 CCD 측광관측을 2000년 11월부터 2001년 5월까지 총 16일간 소백산천문대의 61cm 망원경에 액체질소로 냉각되는 PM512 CCD 카메라를 부착하여 수행하였다. 이때 사용한 필터는 Johnson V 필터이다. CCD 측광 및 관측자료의 처리는 Kim *et al.*(2002)에 자세히 기술되어있다. 또한, 모든 관측자료는 WWW(<http://ast.chungbuk.ac.kr/~dynamic/star/>)상에서 이용할 수 있다.

측광관측으로부터 얻은 총 1054점의 자료로부터 3개(주극심 2개, 부극심 1개)의 극심시각을 Kwee & van Woerden(1956) 방법을 사용하여 표 1에 수록한 바와 같이 결정하였다. Y Cam의 궤도 공전 주기가 심하게 변하기 때문에, 최근의 관측자료에 맞는 새로운 광도요소를 HJD2450872 이후에 관측된 극심시각들을 이용하여 최소제곱법으로

$$\text{Min } I = \text{HJD}2450872.46602(4) + 3.{}^d30574492(2)E \tag{1}$$

을 결정하였다. 그림 3은 (1)식의 광도요소를 이용하여 구한 Y Cam의 광도곡선이다. 이 그림에서 보듯이, 새로운 광도곡선은 전 위상에 걸쳐 골고루 관측되지는 않았지만, Broglia & Marin(1974)이 제안한 짧은 주기의 맥동이 존재하고 있음을 알 수 있다. 우리의 광도곡선에 나타난 맥동 주기와 맥동 성질에 관해서 Kim *et al.*에 자세히 설명되어 있다.

## 3. 광도곡선의 분석

### 3.1 Broglia & Marin(1974)의 BV 광도곡선 분석

우리가 관측한 Y Cam의 광도곡선은 단파장 광도곡선이고, 전 위상에 걸쳐 골고루 관측되지 못했다. 따라서, 새로운 광도곡선을 분석하기에 앞서, 과거에 발표된 광도곡선 중 우리가 유일하게 이용 가능한 Broglia & Marin(1974)의 BV 대표점 광도곡선을 WD 프로그램(Wilson 1990, 1992)을 이용하여 측광해를 산출하였고, 산출된 물리 및 기하학적 요소를 초기치로 이용하여 우리의 V 광도곡선을 분석하였다.

서론에서 언급한 것처럼, Y Cam의 Roche 모형은 연구자에 따라 분리형(Broglia & Conconi 1984)과 반성이 Roche 한계면을 채운 준분리형(Mezzetti *et al.* 1980, Budding 1985)으로 나뉘어진다. 이 논문에서는 이 쌍성계의 Roche 기하를 좀 더 확실히 하기 위해 분리형(Mode 2, Wilson &

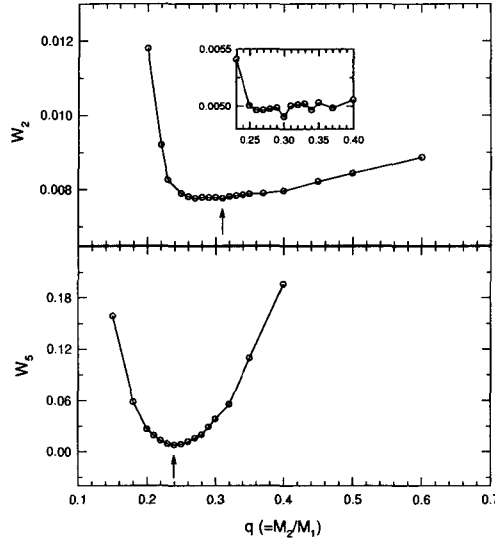


그림 1. Broglia & Conconi(1974)의 BV 광도곡선을 q-search 방법에 의해 다양한 질량비에 따른 가중치 제곱합(W)으로 나타낸 그림. 위 부분은 Mode 2( $W_2$ ), 아래 부분은 Mode 5( $W_5$ )의 결과를 나타낸 것이고, 위 부분 안의 작은 그림은 삼체의 광도를 조정인자에 포함했을 때의 결과를 나타낸다.

Biermann 1976)과 준분리형(Mode 5)의 두 가지 경우에 대하여 반사효과와 비선형 주연감광법칙을 고려하여 광도곡선을 분석하였다.

이를 위하여 WD 프로그램의 인자 중에서 주성의 온도( $T_1$ ), 주연감광계수( $x_1, x_2, y_1, y_2$ ), 중력감광지수( $g_1, g_2$ ) 그리고 반사율( $A_1, A_2$ )은 고정인자로, 그 외의 다른 인자들은 조정인자로 사용하였다. 주성의 온도는 분광형 A9IV-V과 부극심에서의 색지수( $B-V$ ) = +0.285를 이용하여 Popper(1980)와 Flower(1996)의 표로부터 결정한 7300K를 사용하였고, 주연감광계수는 Van Hamme(1993)의 표를 보간하여 결정한 비선형 로그함수를 사용하였다. 중력감광지수와 반사율은 주성과 반성이 각각 복사대기와 대류대기에 의해 이루어졌다고 가정하여 이론값에 의해 고정인자로 사용하였다.

Struve et al.(1950)의 분광관측에 의하여 결정된 Y Cam의 시선 속도곡선은 단지 4점의 단선 시선속도만으로 정의되어 있어, 이 곡선으로 분광학적 질량비를 알 수 없다. 또한, 측광학적으로 산출된 질량비( $q$ )도 0.2~0.4의 범위 내에 분포하고 있다. 따라서, 두 가지 모드(Mode 2와 5)에 대해 q-search 방법(Leung et al. 1985)을 수행하였고, 그 결과를 그림 1에 제시하였다. 이 그림에서 세로축의  $W$ 는  $\sum w_i (O_i - C_i)^2$  (이하  $W$ 로 약함)을 나타낸다.

그림 1에서 보듯이,  $W$ 가 분리형(Mode 2)의 경우는 질량비가 0.31, 준분리형(Mode 5)의 경우는 질량비가 0.24에서 가장 작았다. 따라서, 이 두 값을 각 Roche 모형의 초기 질량비로 사용하여 광도곡선을 분석하였고, 그 결과를 표 2의 두 번째와 네 번째 열에 수록하였다. 또한, 이 쌍성계의 궤도 공전 주기 분석 결과에 의하면 Y Cam계에 보이지 않는 제3(또는 제4) 천체가 있는 것(Broglia & Conconi 1984, Mossakovskaya 1993)으로 알려져 있기 때문에, 삼체의 광도를 조정인자에 포함하여 광도곡선을 분석하였다. 그 결과를 표 2의 세 번째와 다섯 번째 열에 수록하였다. 표 2에서 보듯이, 삼체의 광

표 2. Y Cam의 측광학적 해.

인자	BM <sup>a</sup> 의 BV 광도곡선				우리의 V 광도곡선	
	Mode 2		Mode 5		Mode 2	Mode 5
	삼체 미고려	삼체 고려	삼체 미고려	삼체 고려	삼체와 맥동 고려	
$q$	0.308(1)	0.300(1)	0.241(1)	0.244(2)	0.302(1)	0.248(1)
$i(^{\circ})$	85.65(3)	86.10(8)	85.71(3)	86.11(7)	86.01(6)	86.03(6)
$T_2(K)$	4294(11)	4213(11)	4300(11)	4219(1)	4269(8)	4229(8)
$\Omega_1$	4.420(7)	4.427(4)	4.436(6)	4.376(10)	4.389(4)	4.328(5)
$\Omega_2$	2.564(3)	2.530(1)	2.332	2.339	2.529(1)	2.349
$\Omega_{crit}$	2.484	2.466	2.332	2.339	2.471	2.349
$X_1^b$	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642
$X_2^b$	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626
$Y_1^b$	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260
$Y_2^b$	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149
$x_{B1}^b$	0.786	0.786	0.786	0.786		
$y_{B1}^b$	0.298	0.298	0.298	0.298		
$x_{B2}^b$	0.832	0.832	0.832	0.832		
$y_{B2}^b$	-0.230	-0.230	-0.230	-0.230		
$x_{V1}^b$	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685
$y_{V1}^b$	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
$x_{V2}^b$	0.803	0.803	0.803	0.803	0.803	0.803
$y_{V2}^b$	-0.041	-0.041	-0.041	-0.041	-0.041	-0.041
$l_{1B}^c$	0.953(1)	0.936(6)	0.951(1)	0.934(5)		
$l_{1V}^c$	0.925(1)	0.898(6)	0.923(1)	0.897(5)	0.899(4)	0.900(3)
$l_{3B}^c$		0.024(6)		0.023(5)		
$l_{3V}^c$		0.036(5)		0.036(5)	0.031(4)	0.032(4)
$r_1(\text{pole})$	0.2427(4)	0.2418(7)	0.2432(4)	0.2416(5)	0.2442(5)	0.2447(3)
$r_1(\text{point})$	0.2471(4)	0.2461(8)	0.2471(4)	0.2454(5)	0.2486(5)	0.2487(3)
$r_1(\text{side})$	0.2450(4)	0.2441(7)	0.2455(4)	0.2438(5)	0.2465(5)	0.2470(3)
$r_1(\text{back})$	0.2465(4)	0.2455(8)	0.2466(4)	0.2449(5)	0.2480(5)	0.2482(3)
$r_2(\text{pole})$	0.2470(13)	0.2479(16)	0.2456(3)	0.2465(4)	0.2494(14)	0.2477(3)
$r_2(\text{point})$	0.2981(37)	0.3034(50)	0.3585(73)	0.3597(29)	0.3071(48)	0.3613(20)
$r_2(\text{side})$	0.2553(15)	0.2565(18)	0.2556(3)	0.2565(5)	0.2582(17)	0.2578(4)
$r_2(\text{back})$	0.2783(22)	0.2809(28)	0.2881(3)	0.2891(5)	0.2832(26)	0.2904(4)
$\gamma(\text{km/s})$					-1.3(3.3)	-1.3(2.0)
$a(R_{\odot})$					12.1(1.6)	14.1(3.4)
$\Sigma w_i(O_i - C_i)^2$	0.0078	0.0049	0.0080	0.0049	0.033	0.035

<sup>a</sup>: Broglia & Marin(1974), <sup>b</sup>: 고정인자, <sup>c</sup>:  $l_i = L_i / (L_1 + L_2 + L_3)$

표 3. Y Cam의 분광궤도요소.

궤도요소	SHCKC <sup>a</sup>	이 논문
$\gamma$ (km/s)	0	-2.3(8.8)
$K_1$ (km/s)	35	40(14)
$a_1 \sin i$ ( $10^6$ km)	1.6	1.82(64)
$f(m)(M_\odot)$	0.015	0.0221(10)

<sup>a</sup>: Struve et al.(1950)

도를 조정인자에 포함한 경우( $W \sim 0.005$ )가 그렇지 않은 경우( $W \sim 0.008$ )보다  $W$ 가 인자 3정도 작게 계산되어 삼체의 광도를 조정인자에 포함하는 모델이 관측치를 더 잘 나타냄을 알 수 있다. 삼체의 광도는 청색 필터에 대해서 약 2.4%, 황색 필터에 대해서 3.6%으로 검출되었다. 삼체의 광도는 궤도 경사각을 약 0.5도 가량 증가시킴을 알 수 있다. 불행하게도, 질량비가 다른 두 가지 Roche 모형(분리형과 준분리형)에 대한  $W$ 값이 같게 산출되어 Y Cam의 광도곡선 분석만으로는 Roche 모형을 명확하게 결정할 수 없음을 알 수 있다. 그림 2는 관측점 위에 삼체의 광도를 조정인자에 포함한 Mode 2의 이론적인 결과를 실선으로 나타내었다.

### 3.2 새로운 V 광도곡선 분석

앞 절에서 산출한 Broglia & Marin(1974)의 BV 광도곡선 해를 초기치로 하여 우리가 새롭게 관측한 V 광도곡선을 두 가지 Mode에 대해 WD 쌍성 모형으로 분석하였고, 그 결과를 그림 3에 제시하였다. 이 그림에서 위 부분은 관측점 위에 Mode 2의 이론적인 광도곡선을 실선으로 나타냈고, 아래 부분은 관측치에서 Mode 2와 Mode 5의 이론치를 각각 빼준 잔차를 그렸다. 이 잔차를 자세히 살펴보면, Broglia & Marin과 Broglia & Conconi(1984)가 주장한 것처럼, 반성이 가려지는 부극심 근처에서 짧은 주기의 맥동현상이 잘 보인다. 이러한 맥동현상이 광도곡선 해에 영향을 줄 수도 있기 때문에 Kim et al.(2002)이 그림 3의 아래 패널에 있는 잔차들을 분석하여 구한 4개의 맥동주기와 맥동진폭을 이용하여 맥동에 의한 광도변화를 관측된 광도곡선에서 제거한 후, 맥동 변광이 보정된 광도곡선을 재분석하였다.

그 결과를 표 2의 6번째와 7번째 열에 수록하였다. 표에서 보듯이, Mode 2와 Mode 5로 분리하여 구한  $W$ 값이 거의 같아 관측된 광도곡선은 두 경우에 대해 모두 만족한다고 할 수 있다. 그림 4는 보정된 광도곡선과 그 위에 Mode 2의 해로 구한 이론적인 광도곡선(실선)을 그린 것이다. 이 그림의 아래 부분은 Mode 2의 경우와 Mode 5의 경우의 잔차를 각각 나타낸다. 잔차의 표준편차는 Mode 2는  $\pm 0.033$ 과 Mode 5는  $\pm 0.035$ 이며, Mode 2로 구한 해가 Mode 5보다 부극심 주위의 관측치를 더 잘 맞추고 있다. 이런 관점에서 Y Cam은 준분리형 쌍성이라기 보다는 반성이 Roche 한계면을 거의 채운 분리형 쌍성계에 더 가깝다고 우리는 생각한다. 또한, 맥동을 고려하여 분석한 경우와 그렇지 않은 경우의 광도곡선 해가 거의 비슷하게 산출되어 Y Cam의 경우 맥동이 광도곡선 해에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 이는 맥동에 의한 밝기 변화가 크지 않는데 기인한다고 할 수 있다.

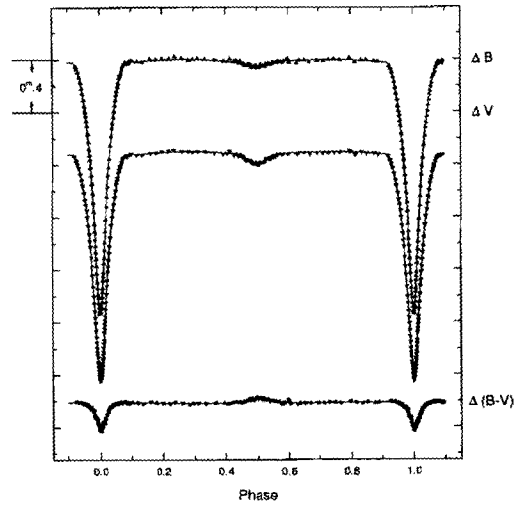


그림 2. Broglia & Conconi (1974)의 BV 광도곡선과 색 곡선. 실선은 삼체의 광도를 조정인자로 포함한 Mode 2의 결과로 그린 이론적인 광도곡선이다.

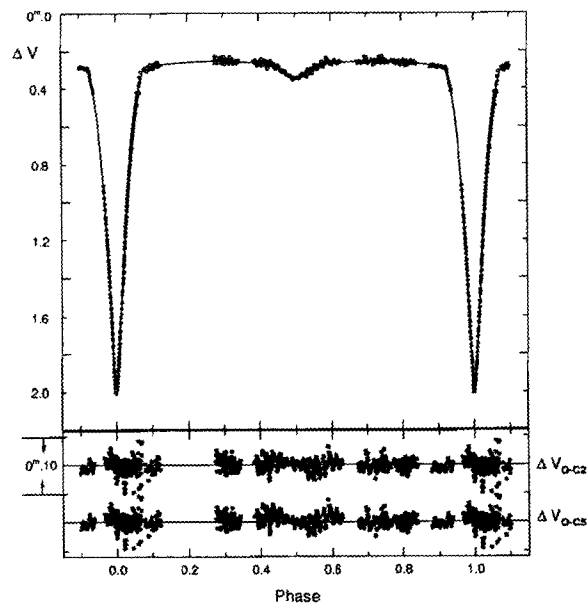


그림 3. Y Cam의 V 광도곡선. 위 부분의 실선은 삼체의 광도를 조정인자로 포함한 Mode 2의 결과로 그린 이론적인 광도곡선이고, 아래 부분은 관측점에서 각각 Mode 2와 Mode 5의 이론치를 빼준 잔차를 나타낸다.

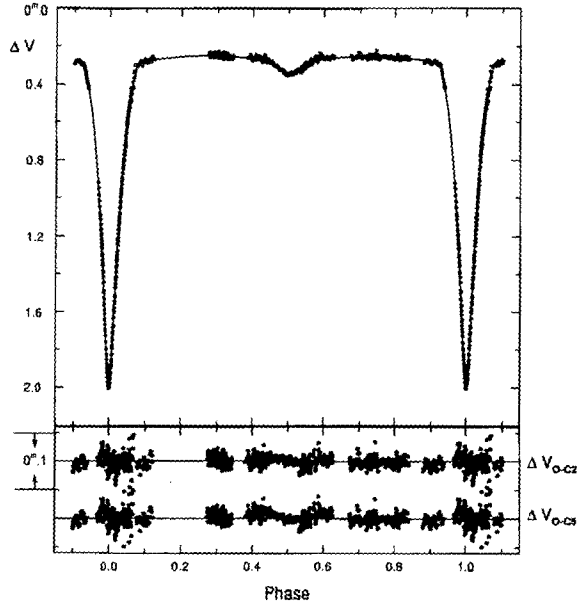


그림 4. 4개의 맥동주기에 의한 광도변화를 제거하고 남은 Y Cam의 V 광도곡선. 아래 그림의 잔차를 보면 Mode 2가 Mode 5보다 부극심 근처에서 관측치를 더 잘 나타낸다.

#### 4. 시선속도곡선의 분석과 절대 물리량

서론에서 언급한 것처럼, Y Cam의 시선속도곡선은 Struve et al.(1950)이 관측한 것이 유일하다. 그런데, 그들은 태양중심시각 대신에 지구중심시각을 사용하여 분광궤도요소를 산출하였기 때문에, 우리는 지구중심시각을 태양중심시각으로 변환한 그들의 시선속도곡선을 순수 sine 곡선과 WD 프로그램으로 재분석하였다. Y Cam의 이론적인 분광시선속도는

$$V_r = \gamma + K \sin \left[ \frac{2\pi}{P} (t - T_0) \right] \quad (2)$$

으로 표현할 수 있다. 여기서,  $\gamma$ 는 Y Cam의 질량중심의 공간 시선속도,  $P$ 와  $T_0$ 는 각각 공전주기와 기산점이다.  $P$ 와  $T_0$ 는 HJD2431653과 HJD2437786사이의 극심시각으로부터 결정한 광도요소, HJD2431653.637과 3<sup>d</sup>.3055200을 각각 사용하였다. (2)식을 미분보정법으로 풀어 그 결과를 Struve et al.의 분광궤도요소와 함께 표 3에 수록하였고, 새롭게 구한 분광궤도요소로 그린 시선속도곡선을 그림 5에 점선으로 그렸다.

이와 더불어 쌍성의 근접 효과에 의한 시선속도 곡선의 왜곡 효과를 고려한 분광궤도요소를 WD 프로그램에 의해 산출하였다. 이때, 각각의 Roche 모형에 대하여 산출된 측광해(표 2의 6열과 7열 참조)를 고정시킨 후, 표 3의 분광궤도요소를 초기치로 하여 질량중심의 시선 속도( $\gamma$ )와 장반경( $a_1 \sin i$ )을 결정하였다. 각각의 Roche 모형에 대한 계산 결과를 표 2의 마지막 2줄에 제시하였고, 시선속도 곡선을 그림 5에 그렸다. 이 그림에서 실선은 Mode 2, 파선은 Mode 5의 결과를 나타낸다.



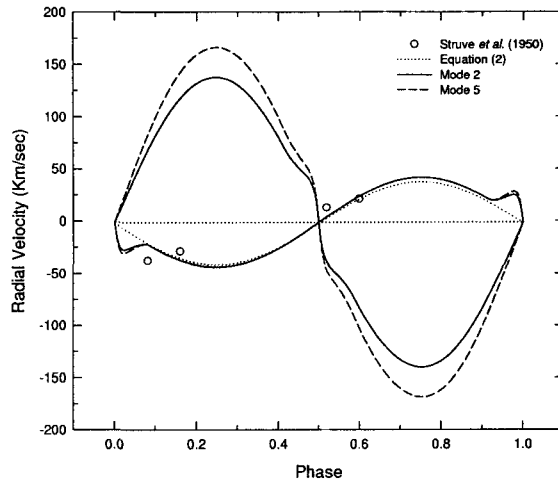


그림 5. Y Cam의 시선속도곡선. 열린 원은 Struve *et al.*(1950)의 관측된 시선속도곡선, 점선, 실선, 그리고 파선은 각각 (2)식, Mode 2와 Mode 5의 이론적인 시선속도곡선이다.

표 4. Y Cam의 절대 물리량.

변수	BM <sup>a</sup>		MCGM <sup>b</sup>		이 논문			
	분리형		준분리형		분리형		준분리형	
	주성	반성	주성	반성	주성	반성	주성	반성
$M/M_{\odot}$	2.4	0.5	1.7	0.4	1.67	0.51	2.76	0.69
$R/R_{\odot}$	3.0	2.9	2.92	2.95	2.98	3.20	3.48	3.75
$M_{bol}(\text{mag})$	-	-	-	-	1.40	3.58	1.06	3.27
$\log g(\text{cgs})$	-	-	-	-	3.71	3.13	3.80	3.13

<sup>a</sup>: Broglia & Marin(1974), <sup>b</sup>: Mezzetti *et al.*(1980)

또한, 이 논문에서 결정된 측광 및 분광학적 해를 이용하여 구한 Y Cam의 절대 물리량을 다른 학자들에 의하여 발표된 물리량과 함께 표 4에 수록하였다.

### 5. 요약과 논의

이 논문에서 맥동 식쌍성 Y Cam에 대한 Broglia & Marin(1974)의 BV 광도곡선과 우리가 새롭게 얻은 V 광도곡선을 WD 프로그램으로 분석하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 광도곡선 분석만으로는 기존에 제안된 두 종류(분리형과 준분리형)의 Roche 모형 중 어느 것이 Y Cam의 진실한 Roche 모형인가를 가려낼 수가 없다.
2. Y Cam의 B 광도곡선에는 삼체의 광도가 약 2%, V 광도곡선에는 약 3% 존재한다.

3. Y Cam의 주성에서 발생하는 맥동에 의한 밝기 변화는 광도곡선 해에 거의 영향을 주지 않으나, 맥동을 고려하였을 경우 분리형 모델이 준분리형 모델보다 약간 더 관측치를 잘 맞춘다.
4. 위에 제기된 아직 밝혀지지 않은 문제점을 해결하기 위해서는 분광관측에 의한 시선속도 곡선이 절대적으로 필요하다.

**감사의 글:** 이 연구는 한국천문연구원과 충북대학교의 산학협동연구의 일환으로 수행 되었습니다.

#### 참고문헌

- Borkovits, T., & Hegedüs, T. 1996, A&AS, 120, 63  
Broglia, P., & Conconi, P. 1984, A&A, 138, 443  
Broglia, P., & Marin, F. 1974, A&A, 34, 89  
Budding, E. 1985, PASP, 97, 584  
Ceraski, W. 1903, Astron. Nachr., 162, 205  
Dugan, R. S. 1924, Princeton Contr. No.6  
Flower, P. J. 1996, ApJ, 469, 355  
Kim, S. -L., Lee, J. W., Youn, J. -H., Kwon, S. -G. & Kim, C. 2002, A&A, 391, 213  
Kwee, K. K., & van Woerden, H. 1956, BAN, 12, 327  
Leung, K., Zhai, D., Liu, Q., & Yang, Y. 1985, AJ, 90, 115  
Mezzetti, M., Cester, B., Giuricin, G., & Mardirossian, F. 1980, A&AS, 39, 265  
Mossakovskaya, L. 1993, IBVS 3902  
Popper, D. M. 1980, ARA&A, 18, 115  
Struve, O., Horak, H. G., Ganavaggia, R., Kourganoff, V., & Colacevich, A. 1950, ApJ, 111, 658  
Szcepanowska, A. 1955, Acta Astron., 134  
Van Hamme, W. 1993, AJ, 106, 209  
Wilson, R. E. 1990, ApJ, 356, 613  
Wilson, R. E. 1992, Documentation of Eclipsing Binary Computer Model, ed. K. C. Leung (University of Florida: Lincoln)  
Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971, ApJ, 166, 605  
Wilson, R. E., & Biermann, P. 1976, A&A, 48, 349  
Wood, D. B. 1971, AJ, 76, 701