

## 공생별 Z And의 선윤곽 분석

이성재 · 형 식\* · 이강환

충북대학교 지구과학교육과, 361-763, 충청북도 청주시 흥덕구 내수동로 52

### An Analysis of the Symbiotic Star Z And Line Profile

Seong-Jae Lee, Siek Hyung\*, and Kangwhan Lee

Department of Earth Science Education, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

**Abstract:** The symbiotic nova Z Andromedae (And) was investigated, using the high dispersion spectra of spectral resolution,  $\Delta\lambda \sim 0.1\text{\AA}$ . The spectral observations were done with (1) the Hamilton Echelle Spectrograph (HES) and the high resolution spectra (exposures=1800s and 3600s) were obtained at Lick Observatory in 2001 August 30<sup>th</sup> (phase  $\Phi=0.77$ ), and 2002 August 12<sup>th</sup> (phase  $\Phi=0.22$ ), (2) with the Bohyunsan Echelle Spectrograph (BOES) at Bohyunsan Optical Astronomy Observatory and the high resolution spectra (exposure=1200s) were secured in 2009 October 21<sup>st</sup> (phase  $\Phi=0.70$ ). From both the HES and BOES spectral data in the 3600 $\text{\AA}$ -9500 $\text{\AA}$  wavelengths, we extracted the emission lines of HI, HeI, and HeII, which have been decomposed into double or triple Gaussian components for 3 consecutive phases. The emission zones responsible for these components appear to be closely related with the orbital motion of a white dwarf or a giant star. The presence of the Raman scattering H $\alpha$  broad wing feature and the kinematic characteristics of the line profile observed in each phase imply that the Z And emission lines are mostly from two Lagrangian points, L<sub>1</sub> and L<sub>2</sub>, and the accretion disk around the white dwarf star. The Z And was most active in 2009 and 2001 during the outburst phase, while it remained quiescent in 2002 in spite of the complex line profiles.

**Keywords:** symbiotic star (Z And), interstellar matter, line profile, spectroscopic observation

**요 약:** 분해능이  $\Delta\lambda \sim 0.1\text{\AA}$ 인 고분산 분광기를 사용하여 공생별 Z Andromedae (And)의 분광자료를 연구하였다. 분광 관측은 (1) 2001년 8월 30일(위상  $\Phi=0.77$ )과 2002년 8월 12일(위상  $\Phi=0.22$ )에 Lick 천문대의 Hamilton Echelle Spectrograph (HES)를 사용하여, 1800초와 3600초 노출의 고분산 자료를 얻었으며, (2) 2009년 10월 21일(위상  $\Phi=0.70$ )에는 보현산 천문대의 Bohyunsan Echelle Spectrograph (BOES)를 사용하여 1200초 노출 시간의 고분산 자료를 얻었다. 약 3600 $\text{\AA}$ -9500 $\text{\AA}$ 파장대의 HES와 BOES 관측 자료로부터 HI, HeI, HeII에 대한 방출선을 선택하여 분석하였다. 이 선들의 선 윤곽 분석 작업을 통해 2개 또는 3개로 분리시키고, 위상별로 각 성분이 어떤 지역에서 형성되고, 백색왜성과 적색거성의 궤도 운동과 어떠한 관련이 있는지를 조사하였다. 라만 산란(Raman scattering)된 H $\alpha$ 선 선폭 및 HI, HeI, HeII의 위상별 변화를 보이는 방출선의 특성으로부터, 방출선들은 백색왜성 주위를 감싸는 강착원반과 이 원반 안의 두 라그랑지안(Lagrangian) 포인트 L<sub>1</sub>과 L<sub>2</sub>지역에서 주로 생성된 것으로 결론지었다. Z And는 활동성이 2009년과 2001년에 가장 활발했고, 2002년의 선 윤곽은 매우 복잡한 양상을 보임에도 불구하고, 활동성은 비교적 조용하였음을 암시하고 있다.

**주요어:** 공생별(Z And), 성간물질, 선윤곽, 분광 관측

\*Corresponding author: hyung@chungbuk.ac.kr

Tel: +82-43-261-2726

Fax: +82-43-271-0526

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

공생별(Symbiotic Star)의 구성원은 크고 차가운 별과 작고 뜨거운 별, 성운성분으로 이루어져 있으며, 뜨거운 성분과 차가운 성분의 영역이 매우 좁은 공간에 공존하는 특이한 상태의 천체이다. 뜨거운 별과 차가운 별은 서로 상호작용을 보여주기 때문에 다른

천체에서는 관측되지 않는 현상들이 관측될 수 있다. 차가운 천체는 주로 적색 거성이며, 뜨거운 천체는 백색왜성(WD)이나 주계열성으로 여겨지고 있고, 주변에는 이온화된 성운이 존재한다. Z And의 분광선은 별에서 나오는 방출선(FeII, TiII, singly ionized metal의 좁은 방출선들)과 성운가스에서 나오는 방출선(HeII, NIII, [OIII])이 함께 존재 한다(Kenyon, 1986).

Z And는 원시 공생별의 전형적인 천체로 알려져 있으며, 비교적 최근인 2000년 9월에 확실한 광도 증가가 시작되었고, 같은 해 12월에 최대 광도에 도달 하였으며, 2004년 9월과 2006년 7월에도 밝기 증가를 보인 것으로 보고되었다(Skopal et al., 2006; Tomov and Tomova, 2006). 또한 계속되는 측광 연구에 의하면 2009년에 중간에 다시 폭발이 발생하여 7월경에 최대광도에 도달하였다(Tarasova and Skopal, 2012).

이 연구에서는 공생별 Z And의 고분산 스펙트럼 관측 자료를 바탕으로 3470Å-9775Å에서의 HI, HeI, HeII의 선을 체크하여, 선 유폭을 분석하고, 방출된 선들이 다른 위상( $\phi=0.77, 0.22, 0.70$ ) 상태에서 관측자에 대해 어떠한 위치에 놓여 있고, 분광선파장이 어떻게 결정되었는가를 조사하고자 한다. 또한 선 유폭을 구성하는 성분의 운동학적인 특성을 조사하여, 선이 생성된 지역의 기하학적 구조를 추정해보고자 한다.

### 분광자료 처리 및 분석

연구에 사용된 분광자료\*는 2001년 8월 30일과 2002년 8월 12일 미국 San Jose 근처에 있는 Hamilton 산의 Lick observatory에서 3 m 고 분산 분광기인 Hamilton Echelle Spectrograph(HES)를 사용해 얻은 것이다. 사용 파장은  $\lambda=3,600-10,500\text{\AA}$ 이고, 사용된 CCD 검출기는 두 경우 모두 2048×2048 화소(pixel)이다. 관측에서 사용된 HES의 슬릿 크기는 5"×1.2"로, 파장방향으로 1.2의 슬릿 폭을 선택함으로써 인해 파장 분해능은 5000Å의 파장에서 약 0.2Å/pixel이었으며, 미약한 선들을 측정하기 위해서 각각 1800초, 3600초를 노출하였다. 강한 방출 선들은 포화(saturation)

되므로, 이 선들을 측정하기 위해 두 관측 모두 300초의 짧은 시간 노출도 행하였으며, 이들 자료들도 연구에 사용하였다. 또한 2009년 10월 21일 보현산 천문대에서 고분산 분광기인 Bohyunsan Echelle Spectrograph(BOES)의 300 μm 광섬유로 관측한 분광자료†를 사용하였는데, BOES는 HES와 유사한 분해능을 가진다. 이 관측의 경우 1200초 노출 시간을 사용하였으며, 자료 처리시 파장을 동정하기 위한 플럭스 교정(flux calibration)을 위해 관측한 별은 IRAF 표준성(standard star)인 HR 7596을 선택하였다. 또한 Z And 거성의 특성을 비교 연구하기 위하여 M2형 표준성인 HD51277도 같은 날 240초 노출 시간을 사용하여 관측하였다.

IRAF를 사용해 관측자료 분석에 필요한 표준 분석 과정을 수행하였다. 서로 각기 다른 시간에 관측한 2001년, 2002년, 2009년의 시선속도를 비교하기 위해서는 관측당시의 지구의 자전과 공전 효과를 보정해야 하는데, 예를 들면 1) 2001년 8월 30일(위상 $\phi=0.77$ 일 때)에는  $V_{\text{helio}}=13.35 \text{ km/s}$ ; 2) 2002년 8월 12일(위상 $\phi=0.22$ 일 때)의  $V_{\text{helio}}=17.52 \text{ km/s}$ ; 3) 2009년 10월 21일(위상 $\phi=0.70$ 일 때)의  $V_{\text{helio}}=-3.63 \text{ km/s}$ 을 구하여 이를 보정해주었다. 위와 같이 구한 지구 자전 및 공전 속도 보정에 필요한  $V_{\text{helio}}$  값을 이용해 분광선을 수정하였다. 이와같은 보정 작업을 통하여, 공생별 자체가 태양에 대하여 어떠한 시선속도로 접근하거나 후퇴하는지를 파악하여, 위상별 운동학적 특성을 연구할 수 있게 된다. 운동학적 특성을 알면, 공생별의 구성원인 발광 가스체의 각 부분이 어떠한 방향으로 팽창하거나 수축하는지 또는 회전하고 있는지에 관한 운동학적인 특성을 공생별의 정지좌표계상에서 연구 할 수 있다.

### 분광 관측 자료 분석

#### Z And의 위상과 두 별의 상대적 위치

Z And는 주기가 약 756.85일로, 2001, 2002, 2009년 관측당시의 위상을 얻기 위해 선행연구(Kenyon and Webbink, 1984)에서 주어진 아래 식을 이용해 위상( $\phi$ )을 구하였다.

$$\text{Min}(m_i) = \text{JD } 2,421,298(\pm 15) + 756.85(\pm 0.99) \cdot \phi$$

\*관측자: 형식, Aller  
†관측자: 이성재, 형식

**Table 1.** Symbiotic star Z And observation log

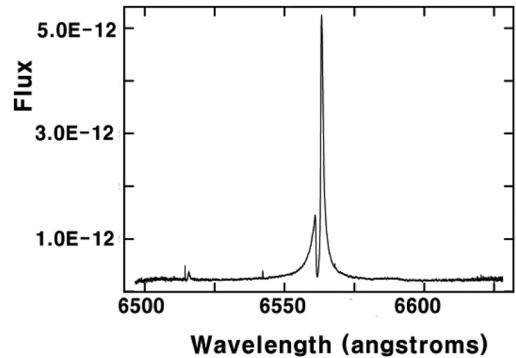
| Observation date (Julian date) | Phase | Exposure (s) | Region (Å) | Seeing (") |
|--------------------------------|-------|--------------|------------|------------|
| 2001/08/30 (2452151.603)       | 0.77  | 1800         | 3475-10700 | 1.5        |
| 2002/08/12 (2452498.924)       | 0.22  | 3600         | 3400-9930  | 0.7        |
| 2009/10/21 (2455125.592)       | 0.70  | 1200         | 3520-9230  | 2.2        |

Table 1은 Z And의 관측일지로서, 관측일, 율리우스 일, 위상, 노출시간, 관측 파장 영역, 시상 등이 제시되었다. 2001년의 Lick 천문대 관측은 평소의 시상(seeing)이 1.5"인 반면, 2002년 Lick 천문대 관측은 시상이 0.7"\*이었다. 2009년 보현산 관측은 보현산 천문대의 전형적인 날씨로 시상이 2.2"\*이었다. Fig. 1은 계산된 위상을 바탕으로 Z And 공생별을 구성하는 두 별의 상대적 위치와 관측자의 시선 방향을 나타내는 모식도이다. Fig. 1에서 관측자의 시선방향은 지면의 아래 중간 부분에 나온 화살표와 같고, 두 별은 공전면의 위쪽에서 보면, 반시계 방향으로 회전하는 것처럼 나타난다.

첫 번째 그림은 2001년 관측 당시의 위상이  $\Phi=0.77$ 일 때, 두 번째 그림은 2002년의 위상이  $\Phi=0.22$ 일 때, 세 번째 그림은 2009년 관측당시 위상이  $\Phi=0.70$ 일 때이다. 질량중심(center of mass, C.M.)을 기준으로 반시계방향으로 회전하고 있는 M2III형 거성(Giant ★)과 백색왜성(WD ★)의 모습을 보여주고 있는데, 2001년과 2009년의 두 별의 시선 속도는 그림에서 보듯이 유사할 것으로 기대된다. 시기가 달라 위상과 분광선의 변화와는 큰 관계가 없지만, 서론에서 언급한 2004년과 2006년 폭발시기의 위상을 구하면, 각각  $\Phi=0.92, 0.90$ 으로 WD이 적색거성에 거의 가리는 시기에 폭발이 발생했음을 알 수 있다.

**선 윤곽(line profile) 자료 분석**

HI, HeI, HeII 선의 선 윤곽을 조사하여, 관측자에 대한 상대적 시선속도 변화를 분석하고, 방출선을 내는 지역의 규모 및 운동학적 특성을 연구하고자 한다. 이 연구에서 위상별로 HI, HeI, HeII의 선을 미국 NOAO(National Optical Astronomy Observatory)의 IRAF(Image Reduction and Analysis Facilities)와 IDL(Interactive Data Language) 및 유럽 ESO(European Southern Observatory)에서 만든 StarLink/



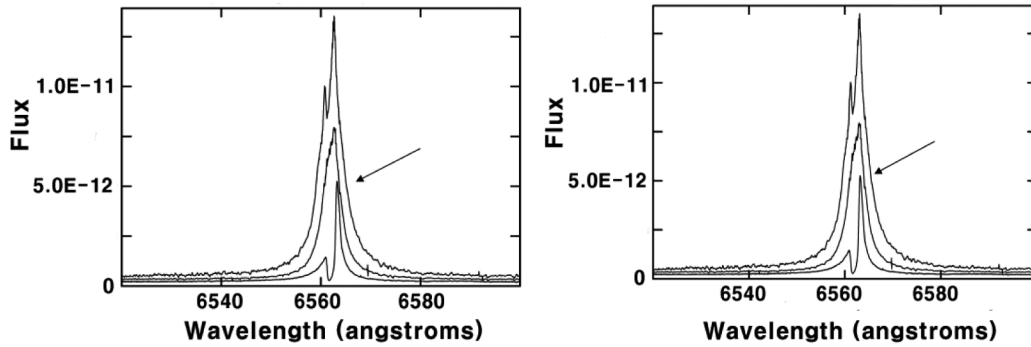
**Fig. 2.** BOES H $\alpha$  spectrum, showing an absorption feature at the center and broad wing at the bottom of the emission line (observation date=2009, exposure=1200s). Flux units:  $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$ .

Dipso를 사용하여 분석하였다. 대부분의 방출선 자료들은 가우시안(Gaussian) 형태를 보이는데 Starlink/Dipso 로 선을 역합성적(deconvolution)을 통해 광범위한 범위에서 방출되는 수소(HI)선과 매우 좁은 지역에서만 생성되는 헬륨 이온(HeII)선을 동시에 조사하고자 한다. 시기별로 수소와 헬륨에서 생성된 선들의 비교를 토대로 Z And의 가스 분포와 운동학적 특징을 연구하고자 한다. 같은 이온에서 나온 선이라 하더라도 신호 대 잡음비(signal-to-noise, S/N ratio)가 낮은 경우, 즉 S/N=10미만 인 경우는 분석에서 제외되었으며, 약한 선이라도 필요한 경우 세심한 주의와 함께 연구에 사용되었다. 또한 S/N가 좋은 강한 선이라도 포화(saturation)된 경우에는, 분석에 포함되지 않도록 하여 선세기 및 윤곽 변화를 조사하여 진행하였다.

**HI 선:** Fig. 2는 2009년 BOES로 관측한 H $\alpha$ 선이다. H $\alpha$  방출선은 폭이 매우 넓고, 거성에서 보이는 흡수선과 WD의 방출선이 함께 나타나 있다.

Fig. 3는 지구의 공전속도와 자전속도를 보정전과

\*2002년의 관측은 Lick Observatory가 세워진 이후 가장 좋은 날씨로 4200 m 정상의 Keck Observatory에서도 경험하기 어려운 날씨였었다.



**Fig. 3.** Overlap plot of three H $\alpha$  6563 Å spectra taken in 2001, 2002, and 2009. (left): Observed. (right): Corrected for Earth's revolution and rotation. (1) medium intensity flux profile in 2001. (2) strongest intensity one in 2002. (3) weakest intensity one in 2009. The arrow indicates where the notable difference occurs. Flux units:  $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$ .

보정후의 H $\alpha$ (6563Å)선의 선 유평을 겹쳐(overlap)서 함께 나타낸 그림이다. Fig. 3의 화살표 부분을 비교해 보면, 과장 보정 전후 과장이 미세한 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 3의 오른쪽에 주어진 지구 공전 및 회전 속도가 보정된 스펙트럼의 분석을 통해서, 선스펙트럼에 나타난 각 성분을 방출한 지역의 운동학적 특징이나 관측자에 대한 시선속도의 변이 등을 연구할 수 있다.

H $\alpha$ 선은 2001년 자료에서는 흡수선이 거의 보이지 않는데, Fig. 2에서 언급한 것처럼 거의 같은 위상인 2009년 자료에서 흡수선이 분명히 보인다. 거의 같은 위상임에도 이러한 차이를 보이는 이유는 2001년에는 Z And의 활동성, 즉 WD의 활동성이 탁월한 시기인 반면, 2009년에는 WD의 활동성이 미약했던 시기로 해석할 수 있다.

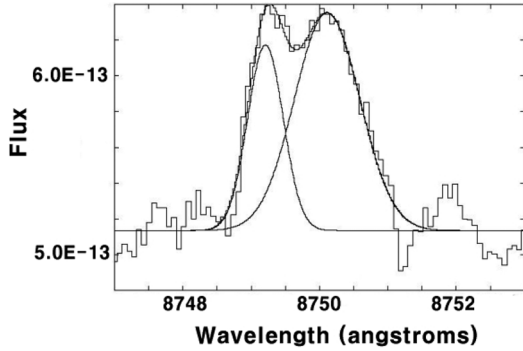
이러한 모습을 보이는 것은 아마도, 2001년에는 WD의 동반성인 적색거성의 활동이 줄어들어서 공간으로 질량손실이 적어진 반면(흡수선이 사라짐), 이전부터 WD 표면으로 유입된 총 질량이 극한에 도달하여, WD의 활동성이 증가하기 시작되고, 방출선의 기저부분(near zero flux)의 선평(width)이 매우 넓어진(wide wing) 것으로 생각된다. 위상이 전혀 다른 2002년에 선의 기저부분의 선평이 더욱 넓어졌는데, 이것은 2002년의 활동성이 2001년에 비해 더욱 증가한 것으로 해석할 수 있다. 이때는 적색 거성의 흡수선 성분이 다시 나타나는데, 이것은 적색거성의 질량 방출이 재게 되었음을 의미한다.

2001년에 흡수선이 나타나지 않은 것에 대한 또 다른 가능성은 WD에서 폭발 같은 현상이 일어나 적

색거성 표면의 물질을 휩쓸어 버린 것으로 해석해 볼 수 있다. 일반적으로 흡수선은 온도가 낮은 주계열성이나 적색거성의 항성대기에서 발생하거나, 별을 가리는 확장된 대기로 인해 발생한다. 적색거성에서 일정한 질량손실이 있었음에도 WD의 폭발로 인해 적색거성 근처의 확장된 대기가 순간적으로 청소되는 경우 어느 기간 동안 흡수선이 미약하게 발생할 수 있을 것으로 여겨진다.

2002년과 2009년의 흡수선들은 적색거성의 시선방향에 대하여 약 45방향으로 움직이는 상태에서 우리로부터 멀어지고 다가오는 상대운동을 나타내며, 2002년에는 후퇴하고, 2009년에는 접근하고 있음을 나타낸다면, 흡수선의 중심으로부터 적색거성의 회전 속도를 유추해 볼 수 있다. 흡수선이 적색거성에서 나온 것이라면, 시선(또는 회전) 속도의 작은 변이는 질량 중심에 대하여 WD 보다 회전속도가 매우 느림을 의미한다. 만일 궤도 경사각이 90라면, 흡수선의 중심과장의 차이,  $\Delta\lambda = \lambda_{2001} - \lambda_{2009} \sim 0.35\text{\AA}$ 로부터 적색 거성의 시선(회전)속도는  $-8 \text{ km/s}$ 이고, 회전속도는 약  $11.3(\sim 8/\cos 45^\circ) \text{ km/s}$ 라고 추정해 볼 수 있다.

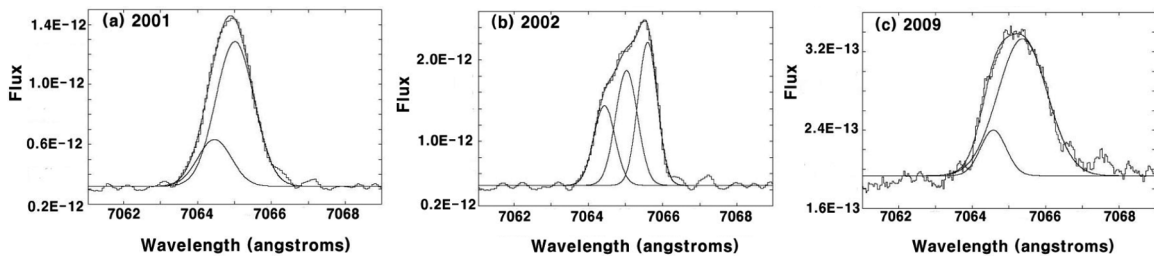
H $\alpha$  방출선을 통해 WD 주변 가스의 운동학적 특성을 알 수 있을 것으로 여겨진다. WD주위의 가스는 적색거성에서 팽창된 가스가 분리되어 WD 지역으로 이동한 가스이다. 하지만 H $\alpha$  방출선은 적색거성으로부터 나오는 강한 흡수선에 성분과 복합되어 정확한 선 유평을 정의하기는 쉽지 않다. 뿐만 아니라, 선평이 매우 넓은 것으로 보아, 가스 밀도가  $N_H \sim 10^9 - 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 의 밀도를 가진 중성가스 지역근처에서 형성된 Ly- $\beta$ 선이 고밀도 지역에서 라만 산란에 의해



**Fig. 4.** HI 8750Å spectral line profile shows double Gaussian peak (observation date=2001, exposure=1800s). Flux units:  $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Å}^{-1}$ . See the text.

형성된 것으로 판단되며, 순수한 HI 발머선이라고 할 수 없다(Lee and Hyung, 2000). 이 경우 H $\alpha$ 선의 파장 폭은 산란된 Ly- $\beta$ 선의 영향으로 실제 팽창속도보다 약 6-10배 큰 wide wing을 가진 H $\alpha$ 선이 형성될 수 있다.

HI선의 선 윤곽이 어떠한 성분으로 구성되어 있는지를 알기 위해, 흡수선과 산란의 영향을 전혀 받지 않은 다른 HI선을 살펴봐야 한다. Fig. 4는 2001년 관측한 HI 8750.48Å의 파센(paschen) 방출선으로 HI 선은 두 성분으로 구성되어 있고, 이 경우 적색편이 성분이 청색편이 성분에 비해 약 2.18배 정도 강함을 보여준다. 수소(HI)선들의 선 윤곽 모양은 관측시기 즉 위상에 따라 가장 큰 차이로 변화함을 알 수 있는데, 2001년의 경우 대부분 두 개의 봉우리로 분리된 형태를 보였고, 2002년의 경우에는 4-5개까지 많은 성분으로 분리되기도 하는데, 이것은 WD의 활동성이 증대되었음을 의미한다.



**Fig. 5.** HeI7065Å line profiles observed in (a) 2001, (b) 2002, and (c) 2009. The earth revolution and rotation have been corrected. The red (C<sub>1</sub>) to blue (C<sub>2</sub>) profile component flux ratios are 1.25:0.4 and 2.4:0.4 in 2001 and 2009 observations, respectively: The primary red emission zone (probably formed near the WD star) must be 3.1 and 6 times larger than the counter part blue one. Flux units:  $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Å}^{-1}$ . See the text for the explanation of the counterpart.

**HeI 선:** Fig. 5는 세 차례 관측된 모든 HeI의 선 윤곽의 변화를 보여준다. 모든 선들이 강한 성분(C<sub>1</sub>)과 약한 성분(C<sub>2</sub>)으로 구성되어 있는데, 강한 성분(C<sub>1</sub>)은 WD 근처 고온의 가스에서만 생성되는 선으로 WD 근처의 가스 분포를 알려주는 단서가 된다. 위상이  $\phi=0.70$ 와  $0.77$ 인 2001년과 2009년 관측한 HeI선은 Fig. 4에서 주어진 2001년, 2009년의 HI선과 유사하게 2개의 성분으로 분리되지만, 청색편이 성분이 상대적으로 미약한 세기를 보인다. 두 이온 모두 매우 유사한 모습으로 2개의 성분을 가지고 있는데, 이 때 WD와 적색거성(Giant star)의 상대적 위치와 운동학적 특성을 Fig. 3에 주어진 모델을 참조하여 해석해 볼 수 있다. Fig. 4와 Fig. 5에서 나온 선들의 플럭스를 구성하는 성분 중 WD에서 멀리 떨어진 곳에서 생성된 것으로 여겨진 방출선 성분(C<sub>2</sub>)은 성분(C<sub>1</sub>)의 1/3-1/6 정도의 약한 세기를 보인다. 헬륨 선을 통해 고온 영역이 매우 광범위함을 알 수 있는데, 다음과 같이 두 성분의 특징을 요약할 수 있다.

(1) 적색편이 된 성분(C<sub>1</sub>): WD 근처의 가스에서 형성된 성분으로 여겨짐. HI, HeI의 플럭스의 75-85%를 차지함.

(2) 청색편이 된 성분(C<sub>2</sub>): WD로 부터 비교적 가까운 곳에서 형성된 것으로 여겨짐. HI, HeI 방출선의 C<sub>1</sub>을 내는 지역에 비해, C<sub>2</sub>가 나오는 지역은 규모가 작거나 온도가 낮은 것으로 판단됨.

2002년의 경우 3개의 성분으로 분석되어졌는데, 중심파장을 기준으로 청색편이 성분 2개, 적색편이 성분이 1개로 보여진다. Fig. 2에서 보듯이 위상이  $\phi=0.22$ 인 2002년 자료에서는 WD가 다가오고, 적색거성이 멀어진다. WD 주위의 가스 지역에서 나오는

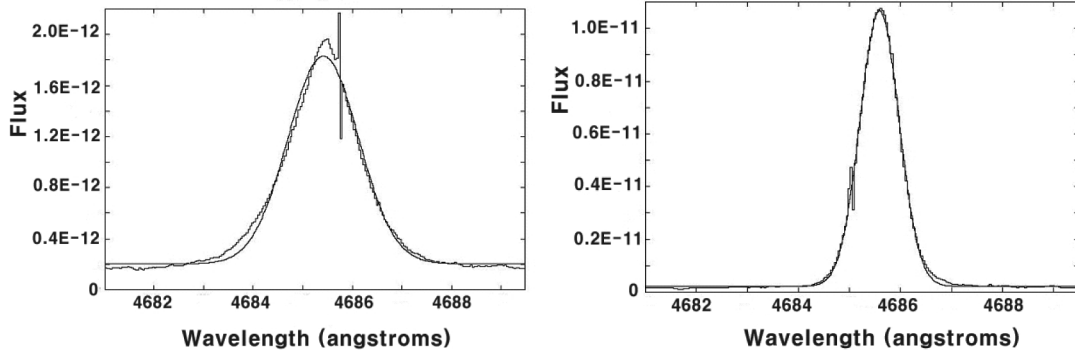


Fig. 6. HeII 4685Å line profiles secured in 2001 and 2002. Flux units:  $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$ .

방출선성분(C<sub>1</sub>)은 2001년에는 적색편이에 위치했었지만, 2002년에는 청색편이로 파장위치가 바뀌었고, 동시에 두 성분으로 분리되어 있음을 알 수 있다(Fig. 5의 중간 그림 참조). 2001년에 청색편이였던 방출선 성분(C<sub>2</sub>)은 2002년에는 적색편이로 매우 큰 파장의 변이를 보이면서 옮겨가서, 전체적으로 3개의 성분이 보다 복잡한 선 유평을 형성하고 있음을 알 수 있다. Skopal et al.(2006)의 측광관측 연구에 의하면, 2000년 12월경 폭발로 인해 최대 밝기를 보인 후, 그 밝기가 차츰 감소하다 2002년 8월 무렵에 UBRV 모든 영역에서 갑작스럽게 밝기가 증가하고, 특히 U-필터 영역에서는 2등급의 밝기 변화가 발생하였다. Fig. 5에 제시된 2002년의 복잡한 선 유평은 WD 표면에서 폭발현상(outburst)이 일어날 때의 복잡한 운동학적 특징을 나타낸 것으로 추측된다.

적색거성에서 방출되는 많은 양의 가스가 WD를 중심으로 강착원반을 형성하며, WD 표면에 유입되지만, 대다수는 적색거성을 탈출하여 성간으로 퍼져 더 많은 질량이 손실될 것으로 판단된다. 이러한 상황에서 적색거성 표면을 탈출하는 가스의 일부 또는 전부가 WD 쪽으로 흘러가서, HI이나 HeI에서 보이는 C<sub>2</sub> 성분을 형성할 것으로 판단된다.

Fig. 3에 나타난 흡수선의 중심 파장은 위상에 따라 값이 별로 달라지지 않았음에 비해, WD에서 떨어진 곳에서 생성되는 방출선 성분(C<sub>2</sub>)의 시선속도는 적색거성의 흡수선과 매우 다름을 알 수 있다. 흡수선으로 적색거성의 공전속도를 추정하면, 매우 느린 공전속도를 보이는데, 이것은 적색거성의 질량이 WD에 비해 매우 큼을 의미한다. 방출선 성분(C<sub>2</sub>)은 적색거성 주위에서 생성된 것이 아니다. 만일 이 성분(C<sub>2</sub>)이 적색 거성 주위에서 생성 되었다면, 적색

거성과 같은 정도의 속도를 보여야 하기 때문이다. 방출선을 방출하는 지역은 (1) 질량중심을 중심으로 움직이는 적색거성처럼 관측자에 대해 WD와 반대 방향의 운동학적 특징을 보여야 하며, (2) WD에 비교적 가까이 있어, HeI 이온화선을 형성하는 지역이어야 한다. 위의 두 조건을 만족하는 지점은 C<sub>2</sub> 성분의 운동학적 특성을 고려하면, 적색거성의 표면근처나 WD 표면이 될 수 없다.

위의 상황을 종합하여, 우리는 (1) WD에 근접해서 생성되는 성분(C<sub>1</sub>)은 L<sub>1</sub>부근에서 생성되었고, (2) WD에 멀리 떨어진 지점에서 나온 것으로 판단되는 성분(C<sub>2</sub>)성분은 L<sub>2</sub>부근에서 생성된 것으로 결론지었다. 하지만, 단지 두 라그랑지안포인트(Lagrangian points) 지점에서 방출선이 형성될 수는 없으므로, 우리는 앞에서 언급한 두 성분의 운동학적 특성을 가장 올바르게 대변하기 위해서, WD를 감싸고 있는 회전하는 강착원반을 제안하게 되었다(Appendix. Fig. A).

**HeII 선:** Fig. 6은 HeII선으로 모두 단일 봉우리를 보인다. 매우 높은 온도지역에서만 형성되는 이 선은 HeI선과는 달리 WD 근처에서만 형성된 것으로 판단된다. 선 유평이 한 개의 봉우리로만 구성되어 있는 것으로 보아 이 지역은 원형의 원반(circular ring disk)임을 알 수 있다. 따라서 HeII선은 라그랑지안 포인트(L<sub>1</sub>)에 집중된 HeI에 비해서 WD에 더 가까운 셀 지역에서 형성된 선으로 보인다.

**선폭과 선을 방출한 지역의 크기**

HeII와 같이 높은 에너지를 요하는 방출선들은 이온화 에너지가 크면 클수록 가스를 이온화 시킨 WD 근처에서 생성되므로, HI, HeI, HeII선이 생성된 지

**Table 2.** Radial velocity of shell using 3 elements in 2001 ( $\Phi=0.77$ )

| Year | $\lambda_{\text{obs}}$ (Å) | Ion   | FWHM (Å) | $V_{\text{FWHM}}$ | $V_{\text{th}}$ | $V_{\text{inst}}$ | $V_{\text{fs}}$ | $V_{\text{turb}}$ | $2V_{\text{rad}}$ | $V_{\text{rad}}$ |
|------|----------------------------|-------|----------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 2001 | 4340.33                    | H I   | 1.21     | 83.56             | 30.55           | 6.58              | 7.7             |                   | 77.12             | 38.56            |
|      | 4861.21                    | H I   | 1.41     | 86.92             | 30.55           | 6.58              | 7.7             |                   | 80.74             | 40.37            |
|      | 8749.86                    | H I   | 1.77     | 60.72             | 30.55           | 6.58              | 7.7             |                   | 51.48             | 25.74            |
|      | 10048.1                    | H I   | 2.25     | 67.05             | 30.55           | 6.58              | 7.7             |                   | 58.82             | 29.41            |
|      |                            |       |          |                   |                 |                   |                 |                   | 평균                | 33.52            |
|      |                            |       |          |                   |                 |                   |                 |                   | RMS               | 6.11             |
|      | 5875.32                    | He I  | 1.52     | 77.79             | 15.27           | 6.58              | 5               |                   | 75.82             | 37.91            |
|      | 6678.15                    | He I  | 1.12     | 50.40             | 15.27           | 6.58              | 5               |                   | 47.32             | 23.66            |
|      | 7064.59                    | He I  | 1.70     | 72.16             | 15.27           | 6.58              | 5               |                   | 70.04             | 35.02            |
|      | 7281.12                    | He I  | 1.70     | 70.17             | 15.27           | 6.58              | 5               |                   | 67.98             | 33.99            |
|      |                            |       |          |                   |                 |                   |                 |                   | 평균                | 32.65            |
|      |                            |       |          |                   |                 |                   |                 |                   | RMS               | 5.38             |
|      | 4685.19                    | He II | 2.34     | 149.82            | 15.27           | 6.58              | 5               |                   | 148.80            | 74.40            |
|      | 5411.43                    | He II | 2.34     | 129.58            | 15.27           | 6.58              | 5               |                   | 128.42            | 64.20            |
|      | 10123.7                    | He II | 3.72     | 110.09            | 15.27           | 6.58              | 5               |                   | 108.71            | 54.36            |
|      |                            |       |          |                   |                 |                   |                 |                   | 평균                | 64.32            |
|      |                            |       |          |                   |                 |                   |                 | RMS               | 8.18              |                  |

※ Velocities are in km/s. RMS: Root mean square error. See the text.

역의 범위는 HI가 가장 넓은 지역, 즉 외각의 반경이 가장 큰 반면, HeII선 형성지역의 반경이 가장 작아야 한다. 이 선들이 WD로 유입되는 질량으로 구성된 강착원반에서 형성되었다고 하면, 세 선들의 선폭을 조사하여 회전속도(시선방향에서 보이는 선폭의 크기)가 이를 뒷받침 하는 지를 조사해야 한다.

Table 2는 2001년의 세 이온의 중간 플럭스 되는 지점의 최대선폭(Full Width at Half Maximum, FWHM)으로부터 시선 방향의 분리속도  $V_{\text{rad}}$ 를 구한 값이다. 시선방향 분리속도는 행성상 성운 구각의 팽창속도 구하는 법과 유사하게 구할 수 있다(Lee and Hyung, 2007; Lee et al. 2009). 즉 FWHM을 측정 한 후, 이러한 선폭증가에 영향을 준 여러 요소들, 즉 열적운동에 의해서도 선폭이 증가( $V_{\text{th}}$ )하며, 망원경 시스템에 의한 기기 선폭증가( $V_{\text{inst}}$ ), 미세 구조(fine structure) 선폭증가( $V_{\text{fs}}$ ), 난류(turbulence)의 선폭증가( $V_{\text{turb}}$ )를 제거하고, 시선 방향의 분리속도  $V_{\text{rad}}$ 를  $2V_{\text{rad}} = (V_{\text{FWHM}}^2 - V_{\text{th}}^2 - V_{\text{inst}}^2 - V_{\text{fs}}^2 - V_{\text{turb}}^2)^{1/2}$ 로부터 구할 수 있다.

Table 2에서 보여 주듯이 HI선은  $V_{\text{rad}}=33.52$  km/s, HeI선은 32.65 km/s로 거의 같은 속도인 반면, WD에 근접할 것으로 여겨지는 HeII선은 64.32 km/s의 빠른 속도를 보인다. 관측된 속도는 가스가 실지 움직인 공간속도 성분 중 시선 방향 성분이므로, 실제 가스가 움직인 속도는 위상을 고려하여 구할 수 있다. 위상이

0.77일 경우, 시선방향에 대해 적색거성과 WD를 연결 하는 축은 약  $45^\circ$ 의 경사각을 가진다. 선들이 생성된 지점이 WD와 적색거성을 연결하는 선상의 라그랑지안 포인트 근처라면, 원반 회전속도=시선방향 분리속도/ $\cos 45^\circ = V_{\text{rad}}/\cos 45^\circ$ 로 근사할 수 있고, 따라서, HI, HeI을 방출하는 원반지역은 약 48km/s로 회전하고, HeII선을 방출하는 지역은 WD 근처의 매우 작은 영역에서 91 km/s로 회전하고 있음을 알 수 있다.

2002년과 2009년에는 방출선을 형성한 원반의 물리적 조건이 달랐을 것으로 판단된다. 우리는 방출선 데이터가 가장 적은 2009년에서도 3개의 He선을 얻을 수 있었다. 이러한 자료를 토대로 2001, 2002, 2009년의 He의 분리속도를 Table 3에 제시하였다. He의 FWHM을 이용해 구한 분리속도( $V_{\text{rad}}$ )의 평균값은 2001년에  $32.65 \pm 5.38$  km/s, 2002년에  $23.70 \pm 6.24$  km/s, 2009년에  $43.10 \pm 6.24$  km/s의 값을 얻었다.

선의 분리속도에 의한 Z And의 활동성은 2009과 2001년에 가장 활발하였고, 2002년에 가장 미약함을 암시한다. 2002년에도 중간 규모의 활동성이 발생했음을 Tarasova and Skopal(2012) 보고하고 있다. 앞에서 언급한 것처럼 Skopal et al.(2006)의 측광연구에 의하면, 2001년에 거대 폭발이 있었고 2002년에도 중간규모의 폭발이 있었다. 우리의 관측 자료를 단순히 해석하면 Z And는 2009년과 2001년에 가장

**Table 3.** Variation of Radial Velocity,  $V_{rad}$ , of HeI lines at 3 phases

| Year                | $\lambda_{obs}$ (Å) | Ion  | FWHM | $V_{FWHM}$ | $V_{th}$ | $V_{inst}$ | $V_{fs}$ | $2V_{rad}$ | $V_{rad}$ |
|---------------------|---------------------|------|------|------------|----------|------------|----------|------------|-----------|
| 2001<br>$\phi=0.77$ | 5875.32             | He I | 1.52 | 77.79      | 15.27    | 6.58       | 5        | 75.82      | 37.91     |
|                     | 6678.15             | He I | 1.12 | 50.40      | 15.27    | 6.58       | 5        | 47.32      | 23.66     |
|                     | 7064.59             | He I | 1.70 | 72.16      | 15.27    | 6.58       | 5        | 70.04      | 35.02     |
|                     | 7281.12             | He I | 1.70 | 70.17      | 15.27    | 6.58       | 5        | 67.98      | 33.99     |
|                     | mean                |      |      |            |          |            |          |            | 32.65     |
|                     | RMS                 |      |      |            |          |            |          |            | 5.38      |
| 2002<br>$\phi=0.22$ | 4387.32             | He I | 0.55 | 37.53      | 15.27    | 6.58       | 5        | 33.28      | 16.64     |
|                     | 4712.92             | He I | 0.93 | 57.45      | 15.27    | 6.58       | 5        | 56.86      | 28.43     |
|                     | 4921.55             | He I | 0.90 | 54.89      | 15.27    | 6.58       | 5        | 52.07      | 26.03     |
|                     | 5015.29             | He I | 0.74 | 43.99      | 15.27    | 6.58       | 5        | 40.42      | 20.21     |
|                     | 5047.42             | He I | 0.60 | 35.81      | 15.27    | 6.58       | 5        | 31.32      | 15.66     |
|                     | 5875.48             | He I | 1.46 | 74.42      | 15.27    | 6.58       | 5        | 72.36      | 36.18     |
|                     | 6678.01             | He I | 1.90 | 48.74      | 15.27    | 6.58       | 5        | 45.54      | 22.77     |
|                     | 7281.57             | He I | 1.22 | 50.39      | 15.27    | 6.58       | 5        | 47.30      | 23.65     |
|                     | mean                |      |      |            |          |            |          |            | 23.70     |
|                     | RMS                 |      |      |            |          |            |          |            | 6.24      |
| 2009<br>$\phi=0.70$ | 5875.85             | He I | 1.90 | 96.83      | 15.27    | 6.58       | 5        | 95.26      | 47.63     |
|                     | 6678.34             | He I | 1.80 | 80.66      | 15.27    | 6.58       | 5        | 78.76      | 39.38     |
|                     | 7064.33             | He I | 2.03 | 86.35      | 15.27    | 6.58       | 5        | 84.59      | 42.30     |
|                     | mean                |      |      |            |          |            |          |            | 43.10     |
|                     | RMS                 |      |      |            |          |            |          |            | 3.42      |

※ Velocities are in km/s. RMS: root mean square error. See Table 2 and the text.

활발했고, 2002년의 선윤곽이 매우 복잡한 양상을 보임에도 불구하고, 활동성은 비교적 조용하였음을 알려준다.

### 결론

우리는 이 연구에서 사용된 고분산 분광관측의 세 시기에 어떤 현상이 있었는지를 Skopal et al.(2006) 과 Tarasova and Skopal(2012)의 측광 연구에서 확인한바, 세 시기 모두 폭발이 일어난 직후임을 알았다. 이 연구에서 우리는 수소, 헬륨의 두 원소에서 나오는 선 윤곽을 비교하여 방출선이 존재하는 지역과 이를 가열하는 에너지원인 WD와의 방출지역과의 상대적 거리등을 유추하여 보고, 가스의 운동학적 특징을 해석하였다. 다양한 특징의 선들이 시기 마다 달리 나타나는 이유는 공생별을 구성하는 두 별의 상대적 위치와 적색거성의 질량손실, WD로의 질량 유입 등에 따라 달라진다. 또한 H $\alpha$ 선에서 보듯이 밀도가 높은 중성수소 영역도 존재하여 차폐가 가능하므로, 이것은 선들이 형성되는 지역에 물질이 많이 모여 있는가 또는 관측자는 어느 방향에서 보고 있는

가에 따라 달라진다.

우리는 위상이 약 0.5차이나는 2001(또는 2009)년 자료와 2002를 비교하여, WD을 감싸는 강착원반이 방출선을 낼 것으로 결론지었다. H $\alpha$ 선에서 보이는 wide wing의 존재는, 밀도가 매우 높아 라만 산란선이 형성되어야 함을 의미하고, 방출선이 형성되는 지역은 상대적으로 높은 밀도를 가지고 있어야 한다. 이러한 조건을 만족하려면, 방출선이 생성되는 지점은 WD로 질량이 유입되는 지점은 라그랑지안 지점 중의 하나인 L1이나 WD 맞은편에 있는 L2로 판단된다. 하지만, L1이나 L2모두 질량중심을 기준으로 WD 쪽에 있어, 만일 L1 또는 L2주위의 가스가 정적으로 WD와 함께 공전한다면, 방출선 성분(C $_2$ )에서 보이는 운동학적 특징을 올바르게 설명할 수 없다. 따라서 이러한 운동학적 특징과 흡수선에서 보이는 적색 거성의 미약한 공전속도의 값을 설명하기 위한 모델이 연구에서 제안한 회전하는 강착원반 모형이다.

세 시기에 형성된 HI, HeI의 두 개 또는 세 개로 분리되는 봉우리의 운동학적 특징은 WD 주위를 회전하면서 접근하는 강착원반과 라그랑지안 포인트 주위를 맴도는 응집된 가스들의 흐름으로 설명할 수



있다. HeII선의 1개의 봉우리는 WD를 회전하는 원형 원반으로 두 라그랑지안 포인트 보다 매우 적은 거리에서 발생된 선으로 보인다. 하지만 중심별의 온도변화에 따라 선폭과 선세기가 매우 달라질 수 있으므로(Lee and Hyung, 2000; Kim and Hyung, 2008), 중심별의 물리적 특성변화가 없었는지에 대하여 다른 선들과 중심별에 대한 이론적인 연구가 병행되어야 이 연구에서 제안한 모델이 신뢰를 얻게 되리라고 판단된다. 앞으로 우리는 보현산 천문대를 방문하여 Z And를 추가로 관측하여 분광자료를 얻고, 얻어진 자료에 변광성이 있는지 조사하여 이 연구에서 미처 분석하지 못한 다른 이온선도 분석하고자 한다.

### 감사의 글

이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었다. HES를 이용한 관측을 같이 수행하였고 지금은 고인이 된 UCLA의 Lawrence H. Aller교수에게도 감사를 표한다.

### 참고문헌

Kenyon, S.J., 1986, The symbiotic stars. PhD dissertation.

Harvard University, Boston, Cambridge University Press, 295 p.

Kenyon, S.J. and Webbink, R.F., 1984, The nature of symbiotic stars. *Astrophysical Journal*, 279, 252-283.

Kim, H. and Hyung, S., 2008, Chemical abundances of the symbiotic nova AG Pegasi. *Journal of the Korean Astronomical Society*, 41, 23-37.

Lee, H.W. and Hyung, S., 2000, Broad Halphal wing formation in the planetary nebula IC 4997. *Astrophysical Journal Letter*, 530, 49-52.

Lee, S.-J., Wi, J.K., and Hyung, S., 2009, Spectroscopic study of the planetary nebula NGC 6210. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 30, 611-621.

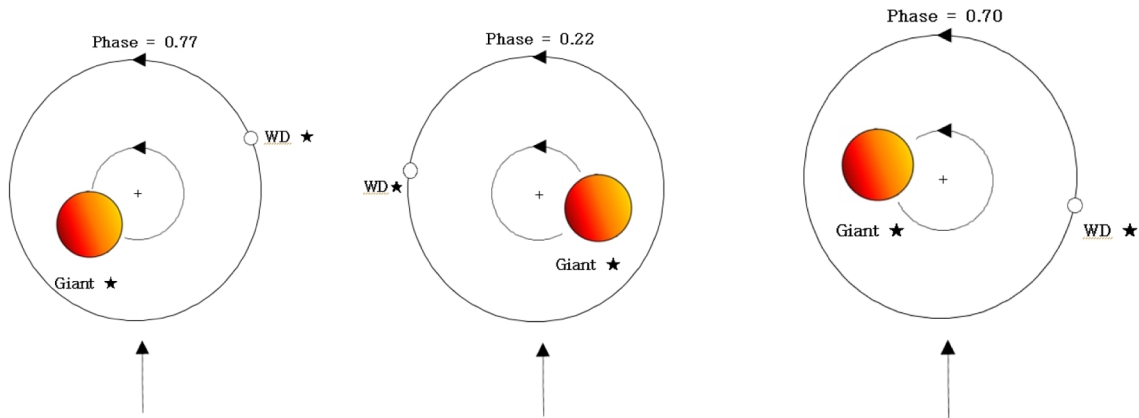
Lee, S.M. and Hyung, S., 2007, Kinematics and geometrical structure of the planetary nebula NGC 6881. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28, 847-856. (in Korean)

Skopal, A., Vittone, A.A., Errico, L., Otsuka, M., Tamura, S., Wolf, M., and Elkin, V.G., 2006, Structure of the hot object in the symbiotic prototype Z Andromedae during its 2000-03 active phase. *Astronomy and Astrophysics*, 453, 279-293.

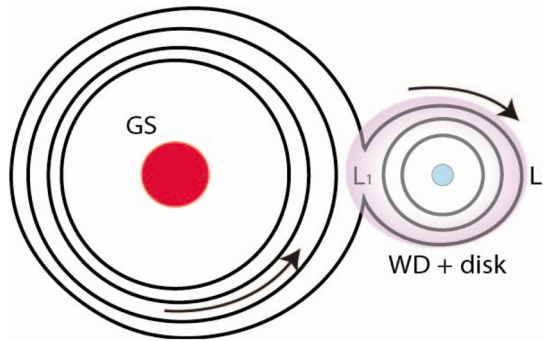
Tarasova, T.N. and Skopal, A., 2012, Formation of the disk structure and jets in the symbiotic system Z and during periods of activity in 2006-2010. *Astronomy Reports*, 56, 218-240.

Tomov, N. and Tomova, M., 2006, H alpha observations of the symbiotic binary system Z And during its 2006 outburst. *Bulgarian Astronomical Journal*, 8, 67-72.

2012년 10월 20일 접수  
 2012년 11월 26일 수정원고 접수  
 2012년 12월 4일 채택



**Fig. 1.** Z And model diagram showing relative positions of two components with respect to the observer in 2001, 2002, and 2009. Each arrow at the bottom center indicates the line of sight.



**Appendix: Fig. A.** Lagrangian points and accretion disk around WD. Due to the left side giant star and right side WD star, 5 Lagrangian points will be formed. The outflow gas from the giant passes through  $L_1$  point, which may form an accretion disk around the WD. The gas around the accretion disk might have recirculating wake zone around two points  $L_1$  and  $L_2$ , from which the HI and He I lines were formed. Although the Lagrangian points are fixed around the WD, the accretion disk and the clockwise rotating gas must pass through the two Lagrangian points swiftly. The  $C_1$  and  $C_2$  components as in Fig. 5 and Fig. 6 line profiles might be originated from such  $L_1$  and  $L_2$  Lagrangian points within the accretion disk boundary. The line of sight is at the bottom as in Fig. 1.