

접촉쌍성 WZ Cephei의 CCD 측광관측

이우백¹, 강영운², 오규동^{3†}

¹한국천문연구원

²세종대학교 천문우주학과, 우주구조와 진화연구센터

³전남대학교 지구과학교육과

CCD PHOTOMETRY OF CONTACT BINARY WZ Cephei

Woo-Baik Lee¹, Young-Woon Kang², and Kyu-Dong Oh^{3†}

¹Korea Astronomy & Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

²Department of Astronomy and Space Science, ARCSEC, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

³Department of Earth Science Education, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

E-mail: ohkd@chonnam.ac.kr

(Received December 11, 2007; Accepted February 11, 2008)

요 약

접촉 식쌍성 WZ Cep를 CCD 측광관측하여 *BVR* 광도곡선을 얻고, 5개의 극심 시각을 결정하였다. 새로운 3색의 광도곡선을 Wilson-Devinney 프로그램에 적용하여 측광학적인 해를 구하고, 광도곡선의 장주기 변화를 검증하였다. 우리 광도곡선의 형태는 전형적인 W UMa형의 대칭적인 것으로 나타나는 반면에 Hoffmann(1984)의 광도곡선은 매우 심한 O'Connell 효과를 보이는 비대칭으로 나타난다. WZ Cep의 대칭적인 광도곡선은 Djurasevic *et al.*(1998)의 광도곡선에서도 확인되었다.

ABSTRACT

We present the full *BVR* light curves and five times of minima of WZ Cep to provides a complete photometric solution and to confirm the long term variation of the light curves. Our light curves show symmetry while previous light curves of Hoffmann (1984) show a high degree of asymmetry (the O'Connell effect). The *BVR* light curves were analyzed by the method of Wilson-Devinney Differential Correction. Our photometric results show a good agreement with those of Djurasevic *et al.* (1998).

Keywords: contact binary, light curve, binary solution

1. 서 론

식쌍성 WZ Cep는 주기가 0.^d4174이고 분광형이 F5(Kholopov *et al.* 1985)인 W UMa형의 접촉식 쌍성이다. 그러나 Shaw(1990)는 이 별을 EB형의 근접촉쌍성으로도 분류한바가 있다. Balazs(1937)과 Detre(1940)는 각각 사진관측에 의한 WZ Cep의 광도곡선을 발표하였으며, Hoffmann(1984)은 광전 측광을 통하여 O'Connell 효과가 매우 큰 비대칭성을 보이는 EB형의 2색(B&V) 광도곡선을 발표하

[†]corresponding author

표 1. WZ Cep의 관측된 극심시각.

HJD(2453000.0+)	Min. Type	HJD(2453000.0+)	Min. Type
644.8206±0.0003	I	642.9406±0.0002	II
643.9866±0.0003	I	643.7754±0.0002	II
642.7343±0.0004	I		

였다. 한편, Kaluzny(1986)과 Djurasevic(1993)은 모두 Hoffmann의 광도곡선을 이용하여 각각 WD 모델과 자신이 개발한 Djurasevic(1992) 모델을 적용하여 WZ Cep의 해를 발표한바 있다. 여기서 Kaluzny(1986)는 Hoffmann의 광도곡선의 비대칭성을 설명하기 위하여 반성에 hot spot가 있을 것으로 추정하였을 뿐 실제로는 hot spot를 적용하지 않은 해를 구하였다. 따라서 Kaluzny의 해는 실질적으로 Hoffmann의 광도곡선과 잘 일치하는 해를 얻지 못하였다. 그러나 Djurasevic(1993)은 주성에 2개의 dark spot를 적용하여 해를 구하였다. 그 후 Djurasevic et al.(1998)은 광전측광을 통한 새로운 3색(B,V&R)의 광도곡선을 발표하고 자신이 개발한 모델을 사용하여 반성에 dark spot가 존재하는 새로운 해를 발표하였다. 그런데 특별한 것은 Djurasevic et al.가 발표한 새로운 3색(B,V&R)의 광도곡선은 Hoffmann이 발표한 2색(B&V) 광도곡선과는 매우 다르게 비대칭성이 나타나지 않는 광도곡선 모양을 보이고 있다. 결과적으로 광전측광에 의한 Hoffmann과 Djurasevic et al. 광도곡선 모양은 매우 뚜렷하게 차이를 보이고 있음으로 새로운 관측을 통하여 이에 대한 검증이 요구된다.

따라서 이번 연구에서는 WZ Cep에 대한 새로운 3색(B,V&R)의 CCD 측광 관측을 하였다. 새로운 광도곡선과 함께 지금까지 발표된 Hoffmann(1984)와 Djurasevic et al.(1998)의 광도곡선상의 차이점을 비교하고 WD 프로그램(Wilson & Devinney 1971, Wilson & van Hamme 2004)을 적용하여 WZ Cep의 새로운 해를 구하였다.

2. CCD 관측과 극심시각

WZ Cep를 2005년 9월 29일부터 4일간 초점비 $f/7.5$ 인 레몬산 1m 망원경과 2K CCD로 측광 관측하여 3색(B,V&R)의 광도곡선을 얻었다. 관측에 사용된 비교성은 GSC 4486 1402이며 관측 자료의 전 처리 과정은 IRAF 패키지를 이용하였다. 그 결과 관측점은 374(B), 371(V), 371(R)을 얻었다.

그림 1은 CCD 측광 관측된 WZ Cep의 3색(B,V&R)의 광도곡선으로서 다음의 광도요소(Kreiner et al. 2001)를 사용하여 위상을 구하였다.

$$Min.I = HJD2449890.3582 + 0.41744670E. \quad (1)$$

표 1은 이번 관측으로부터 얻은 각 필터별로 구한 극심시각들을 가중 평균하여 얻은 주극심시각 3점과 부극심시각 2점이다.

3. 광도곡선의 비교 분석과 해

WZ Cep는 전형적인 W UMa형으로서 WD 프로그램의 mode 3을 적용하여 분석하였다. 먼저 관측된 광도곡선을 WD 프로그램에 적용하기 위하여 3색(B,V&R)의 관측치에 각각 $0.^m65$ 을 더하여

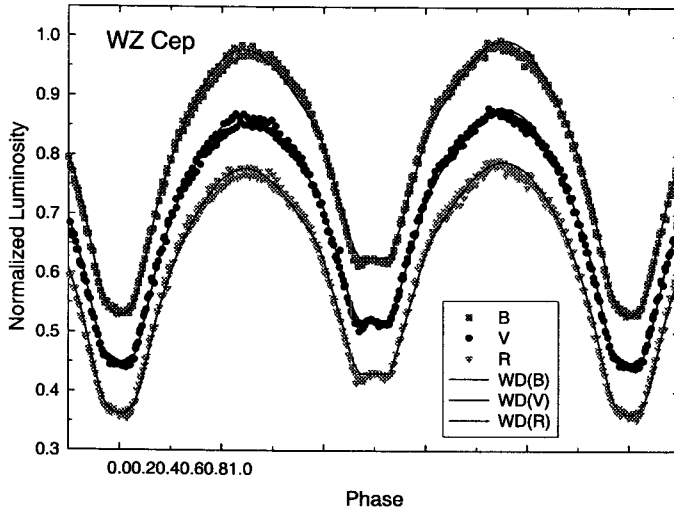


그림 1. WZ Cep의 3색(BVR)의 관측된 광도곡선과 WD모델에 의한 이론적인 광도곡선(실선).

규격화 시켰으며 초기의 입력값으로 고정시킨 인자와 그 값은 다음과 같다. 주성의 온도(T_1)는 분광형이 F5(Kholopov *et al.* 1985)로서 de Jager & Nieuwenhuijzen(1987)으로부터 구하여 6650K로 고정하였으며, 중력감광계수($g_1 = g_2$)와 복사반사도($A_1 = A_2$)는 주성과 반성을 대류대기로 가정하여 각각 0.32와 0.5로 고정하였다. 주연감광계수($x_1 = x_2$)와 복사주연감광계수 $x_1(bolo) = x_2(bolo)$, $y_1(bolo) = y_2(bolo)$ 는 van Hamme(1993)으로부터 구하여 고정하였다. 그 외의 수정시킨 초기값은 Djurasevic *et al.*(1998)의 값을 사용하였다. 한편 그림 1에 나타난바와 같이 WZ Cep의 광도곡선이 약간의 비대칭성을 보이고 있기 때문에 이에 대하여서는 주성에 dark spot를 두어 해를 구하였다. 그림 1의 실선은 WD 프로그램의 mode 3에 의하여 구한 이론적인 광도곡선으로서 관측된 광도곡선을 잘 대표하고 있다. 그림 2는 주성에 dark spot를 고려한 WZ Cep의 로쉬모형이다.

표 2에 WZ Cep의 우리의 해와 함께 지금까지 발표된 Kaluzny(1986)과 Djurasevic *et al.*(1998)의 해도 함께 비교하였다. 그런데 Djurasevic *et al.*의 값은 Roche 모델을 기본으로 한 자신의 프로그램을 사용하였기 때문에 각각의 필터(표 2에는 단지 B필터의 해만 제시하였음)에 따라 각각 서로 다른 해를 얻게 된 것이며 우리의 해는 3개(B,V&R)의 광도곡선을 동시에 입력하여 해를 구한 것이다. 표 2에서 Kaluzny의 해는 Hoffmann(1984)의 비대칭 광도곡선을 이용하여 spot를 고려하지 않은 해로서 Djurasevic *et al.* 및 우리의 해와는 여러 가지 궤도요소에서 큰 차이를 보이고 있다. 한편, 서론에서도 밝힌바와 같이 광전측광을 통한 WZ Cep의 광도곡선은 Hoffmann와 Djurasevic *et al.* 사이에 너무나도 큰 차이를 보이고 있기 때문에 이에 대한 비교를 위하여 우리의 광도곡선을 포함한 B 필터에 관하여 모두 3개의 광도곡선을 서로 비교하여 보았다. 그 결과 그림 3에 나타난바와 같이 Djurasevic *et al.*과 우리의 광도곡선은 위상 0.5를 중심으로 상호 대칭적인 모습을 보이는데 비하여 Hoffmann의 광도곡선은 위상 0.25의 Max. I에서의 밝기가 위상 0.75의 Max II에서 보다 더 밝은 O'Connell 효과를 보이며 우리의 광도곡선과는 매우 큰 차이를 보이고 있다. 또한 Hoffmann의 광도곡선은 부식심의 깊이도 우리의 광도곡선과 큰 차이를 보이고 있다. 그런데 그림 3은 단지 이들 3개의 광도곡선상

표 2. WZ Cep의 궤도요소와 해.

Element	Kaluzny(1986)	Djurasevic et al.(1998)	This Paper		
	B	B	B	V	R
i	87.0	85.1±1.1		85.05±1.79	
q	0.335±8	0.326±0.006		0.3434±0.0046	
T ₁ (K)	7000	6440		6650	
T ₂ (K)	6100±50	6311±28		6378±16	
Ω ₁ = Ω ₂	2.445±14	2.504		2.5091±0.0158	
L ₁ /(L ₁ + L ₂)	0.8339±11	0.747	0.7606	0.7535	0.7496
x ₁ = x ₂	0.72	0.71	0.799	0.705	0.611
r ₁ (pole)				0.5172±0.0015	
r ₁ (side)				0.5717±0.0024	
r ₁ (back)				0.5941±0.0030	
r ₂ (pole)				0.2199±0.0040	
r ₂ (side)				0.2298±0.0049	
r ₂ (back)				0.2705±0.0111	
x ₁ (bol) = x ₂ (bol)				0.641	
y ₁ (bol) = y ₂ (bol)				0.243	
SpotΦ		7.3±4.5		90.00	
SpotΘ		361.8±2.1		279.9±0.1	
Spotr _s		14.1±1.5		10	
Spot TF		0.7		0.87±0.03	

$$f [= (\Omega_{in} - \Omega) / (\Omega_{in} - \Omega_{out})] = 0.241$$

표 3. 지금까지 발표된 WZ Cep 광도곡선의 비교(Pg 및 B 필터).

	Balazs(1937)	Detre(1940)	Hoffmann(1984)	Djurasevic et al.(1998)	This paper
Δm(Min I)	0.62	0.55	0.80(0.70)	0.67	0.66
Δm(Min II)	0.54	0.53	0.50(0.40)	0.56	0.49
Δm(Min I-Min II)	0.08	0.02	0.30	0.11	0.17

의 차이점만을 비교하기 위한 것이었기 때문에 B 필터로 관측된 광도곡선을 위상 0.75에서의 광도를 1로 규격화 시켜서 일치시켜본 것이다. 결과적으로 현재의 3개의 광도곡선만을 비교하여 본다면 Hoffmann의 광도곡선은 최근에 발표된 2개의 광도곡선과는 매우 큰 차이를 보이고 있다.

다음으로 표 3에 우리의 광도곡선을 포함한 지금까지 발표된 5개(Balazs 1937, Detre 1940, Hoffmann 1984, Djurasevic et al. 1998과 This paper)의 광도곡선상의 등급 차이를 비교하였다. 여기서 Δm(Min I)은 주극심의 깊이, Δm(Min II)은 부극심의 깊이, 그리고 Δm(Min I-Min II)은 주극심과 부극심 깊이의 차이를 말한다. 그런데 WZ Cep의 초기에 발표된 2개(Balazs 1937, Detre 1940)의 광도곡선이 사진관측(Pg)임을 고려하여 그 이후 3개의 광도곡선을 B필터로 관측된 광도곡선만을 서로 비교하였다. 표 3의 값들은 모두 위상 0.25의 밝기를 기준으로한 각각의 등급 차이 값들이며 Hoffmann의 값 가운데 괄호 안의 값은 그의 광도곡선이 비대칭성을 보이고 있는 관계로 위상 0.75를 기준한 등급 차이도 함께 구한 것이다. 그 결과 표 3에 나타난 바와 같이 주극심과 부극심의 등급차인 Δm(Min I-Min II) 값이 Hoffmann의 광도곡선에서 가장 큰 0.30을 보이는데 비하여 나머지 4개의 광도곡선은 이 값이 그리 크지 않은 전형적인 W UMa형의 대칭적인 광도곡선 형태를 보이고 있음을 알 수가 있다.

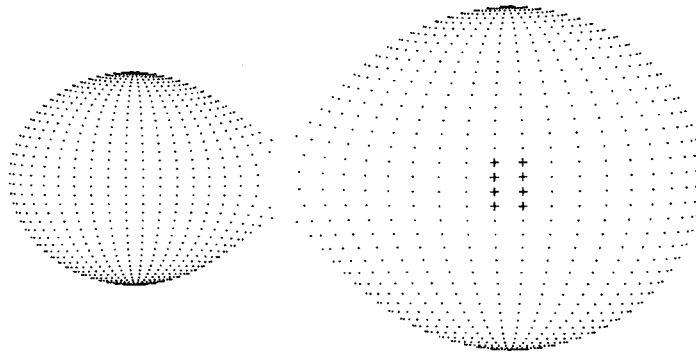


그림 2. 주성에 dark spot을 갖은 WZ Cep의 로쉬 구조.

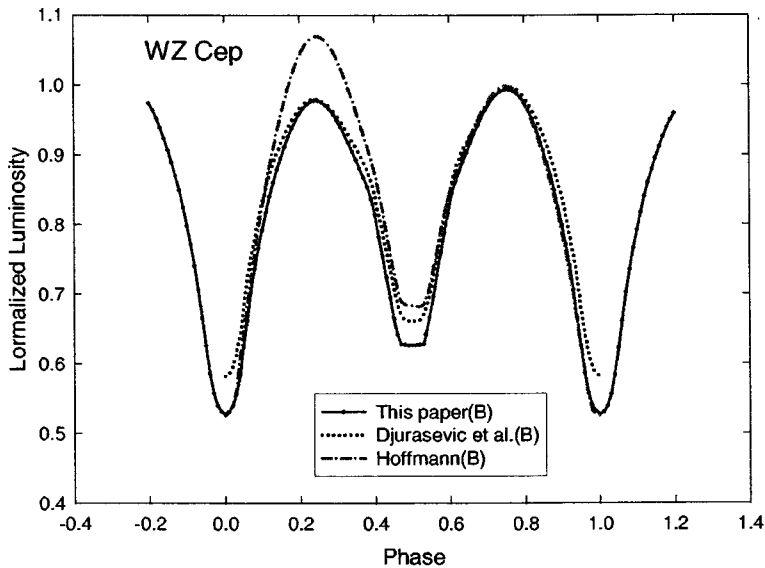


그림 3. Hoffmann(1984), Djurasevic *et al.*(1998) 및 우리의 광도곡선과의 비교(B 필터).

4. 검토와 결과

WZ Cep에 대한 새로운 3색(B,V&R)의 CCD에 의한 광도곡선을 얻고 이를 WD 프로그램에 적용하여 이 별의 측광학적 해를 구하였다. 표 2에 관측된 광도곡선으로부터 5점의 새로운 극심시각을 얻었다. 우리의 3색(B,V&R) CCD 광도곡선과 함께 광전측광 관측으로부터 얻은 Hoffmann(1984)의 2색(B&V) 광도곡선과 Djurasevic *et al.*(1998)의 3색(B,V&R) 광도곡선을 비교하여 본 결과 O'Connell 효과가 큰 것으로 발표된 Hoffmann(1984)의 광도곡선은 최근의 2개의 광도곡선과 현저하게 차이가 나타나는 점으로 보아 이에 대한 철저한 검증이 요구된다(그림 3). 이와 함께 지금까지 발표된 WZ

Cep의 5개의 광도곡선의 관측결과를 비교 분석한 결과(표 3), WZ Cep는 전형적인 W UMa형으로 약간의 비대칭성을 보이지만 Hoffmann의 광도곡선과 같은 매우 큰 비대칭성은 없는 것으로 나타났다. 한편, 우리의 해와 Djurasevic et al.(1998)의 해 사이에 큰 차이는 없으나 우리의 해는 단지 주성에 dark spot을 두었으나 Djurasevic et al.는 주성과 반성에 각각의 dark spot을 두어 해를 얻었다. 따라서 이러한 비교는 앞으로 WZ Cep의 분광관측 결과와 함께 적용함으로써 보다 좋은 해를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 이 연구는 한국과학재단이 지원하는 우주구조와 진화연구센터의 연구비로 수행되었다.

참고문헌

- Balazs, J. 1937, Beob. Zirk. d. AN, 19, 7
 Detre, L. 1940, Budapest. Mitt, 10. 3
 de Jager, C. & Nieuwenhuijzen, H. 1987, A&A, 177, 217
 Djurasevic, G. 1992, ApS&S, 197, 17
 Djurasevic, G. 1993, ApS&S, 206, 145
 Djurasevic, G., Zakirov, M., Hojaev, A., & Arzumanyants, G. 1998, A&AS, 131, 17
 Hoffmann, M. 1984, Veroff. der Astron. Inst. Bonn, No.96
 Kaluzny, J. 1986, Acta Astronomica, 36, 105
 Kholopov, P. N., Samus, N. N., Frolov, M. S., Goranskij, V. P., Gorynya, N. A., Kireeva, N. N., Kukarkina, N. P., Kurochkin, N. E., Medvedeva, G. I., Perova, N. B., & Shugarov, S. Yu 1985, GCVS (4th ed.), Moscow, Vol.1
 Kreiner, J. M., Kim, C-H., & Nha, I-S. 2001, An Atlas of (O-C) Diagrams of Eclipsing Binary Stars, Vols.1-6 (Krakow: Press of Pedagogical Univ.)
 Shaw, J. S. 1990, Active Close Binaries, ed. Ibanoglu (Dordrecht: Kluwer Academic Pub.), p.241
 van Hamme, W. 1993, AJ, 106, 2096
 Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, ApJ, 166, 605
 Wilson, R. E. & van Hamme, W. 2004, Computing Binary Star Observables (Florida: University of Florida)