

44i BOO의 자외선 방출연구

한동주¹ · 김용기¹ · 한원용² · 이우백²

¹ 충북대학교 천문우주학과

² 표준과학연구원 천문대

UV LINE EMISSIONS OF 44i BOOTIS

Dongjoo Han¹, Yonggi Kim¹, Wonyong Han², and Woo-Baik Lee²

¹ Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

² Korea Astronomy Observatory, Taejeon, 305-348, Korea

e-mail: ykkim@astro.chungbuk.ac.kr, whan@hanul.issa.re.kr

(Received Oct 29, 1998; Accepted Nov 18, 1998)

요 약

IUE 저분산 관측자료를 가지고 W-UMa 형 별인 44i Boo의 자외선 광도곡선을 완성하였다. 채층과 전이영역으로부터 나오는 방출선의 변화를 알아보기 위해서 CI, CII, CIV, SiIV, HeII 선의 방출선 세기를 계산하였다. CIV 방출선이 가장 강한 방출을 보였으며, CII, HeII, CI, SiIV의 순서로 방출선의 세기가 관측되었음이 확인되었다. 또한 방출선의 세기가 주기적으로 변하고 있음을 확인하였고, 모든 방출선들이 위상 0.2와 0.8부근에서 상대적으로 강한 방출선을 보인다. 이는 44i Boo의 표면에서 채층 및 전이영역의 활동성으로 인해 자외선 방출이 불균일하게 나오고 있음을 나타내는 것이라고 해석할 수 있다. 채층활동의 변화로 인해 관측시간이 서로 다를 때 자외선 방출선의 변광형태도 달라지고 있음을 확인 하였다.

ABSTRACT

We obtained UV light curves of 44i Bootis, a W UMa type star from the IUE low dispersion spectra. In order to investigate variations of the emission lines from chromospheric activity and transition region, UV line intensity has been measured for CI, CII, CIV, SiIV, HeII lines. Through plotting the line intensity with the orbital phase, we found that emission lines showed maximum at $0^{\circ}.2$ and $0^{\circ}.8$ of the light curves, indicating the chromospheric activity of contact binary, 44i Bootis. We found that the light curves of UV emission lines is strongly modulated by the variation of chromospheric activities of 44i Bootis.

1. 서 론

일반적으로 접촉쌍성은 쌍성계의 광도와 주기가 일정하지 않고, 시간에 따라 변한다. 최근에 분광형이 만기형인 별에서 대류층이 형성되면서, 별의 자전속도가 태양의 자전속도보다 빠르게 되면 태양과 같이 자기발전(magnetic dynamo)이 일어날 수 있으며, 이로써 자기장의 활동이 활발해지고 더욱 발전하여 채층 활동이 활발하게 나타나게 된다는 것이 알려졌고 (강영운 1997), 또 쌍성을 둘러싼 대기에서 채층과 코로나 활동이 관측됨에 따라 접촉쌍성계에서 광도 변화의 원인도 서서히 밝혀지고 있다(Cruddace & Dupree 1984). Vilhu & Heise(1986)는 접촉쌍성계에서 코로나의 존재를 밝히기도 했으며, 많은 흡수선의 원인이 되는 차가운 흡수 구름으로 둘러싸인 뜨거운 물질이 있다고 제안한 바 있다. 보통 접촉쌍성의 표면은 극히 불안정한 대류층을 지니고 있으면, 공전주기가 1일 미만인 매우 빠른 회전을 하고 있다. 광구 채층 전이영역 같은 자외선이 방출되는 영역의 물리적 구조를 파악하기 위해서 인공위성에 의해 관측된 자외선 관측자료가 사용되고 있다.

44i Boo는 근접쌍성으로써 0.26781일의 공전주기를 갖는 W-UMa형 별이다. 접촉형 식쌍성이며 ADS9494와 안시쌍성계를 이루는 식변광성이기도 하다. 지금까지 이 별의 연구는 주로 광학과 측광 관측으로 행해졌으나, 80년대에 들어서 인공위성에 의한 자외선 영역의 관측으로 많은 자료를 얻을 수 있게 됨에 따라 이 별의 물리적인 상황을 재분석할 수 있게 되었다. 이번 연구에서는 IUE(International Ultraviolet Explorer) 인공위성에서 관측한 44i Boo의 자외선 스펙트럼을 분석하여 자외선 방출이 일어나는 영역의 채층 활동이 일어나고 있음을 확인하였다.

2. 관측자료

1996년 1월부터 충북대학교 우주관측연구소가 스페인의 VILSPA(Villafrance Satellite Tracking Station)가 구축한 ULDA Software의 USSP(User Search System Package)의 국내 서비스 서버로 지정 받아 저분산 자료를 이진파일이나 아스키(ASCII) 파일로 보내주는 IUE 관측자료 검색서비스를 실시하였다. 그 후, 1998년부터는 VILSPA에서 개발한 INES(International Ultraviolet EXplorer Newly Extracted Spectra) 시스템을 설치하여 서비스를 제공하고 있다. INES 시스템은 WWW상에서 FITS 파일형식으로 자료의 목록과 관측자료를 서비스하고 있다 (<http://210.115.168.91/ines/>).

이 연구에서는 충북대학교 서버에 있는 IUE 자외선 관측자료에서 44i Bootis의 저분산 자료를 검색하여 이용하였다. 44i Boo의 저분산 SWP(Short Wave Length Prime)관측은 1978년, 12월 18일에 5회, 1979년 3월 21일에 1회, 1979년 10월 14일에 5회, 1980년 2월 1일에 1회, 1986년 6월 28일에 8회, 1989년 4월 13일에 1회, 1989년 4월 18일에 10회, 1989년 4월 19일에 1회가 이루어졌다. 이중 대부분의 자료들 중 일부만 발표된 바 있고 (Vilhu & Heise 1986), 대부분의 자료들이 아직 구체적으로 분석되지 못한 상태로 있다. 특히 이들 자료를 이용한 44i Boo의 방출선 세기에 대한 연구는 아직 보고된 바 없다. 사용한 자료들 중에서 1986년에 관측한 3개의 스펙트럼을 그림 1에 나타내 보았다. 시간에 따라 몇몇 자외선 방출선들의 세기가 변하고 있음을 알 수 있다.

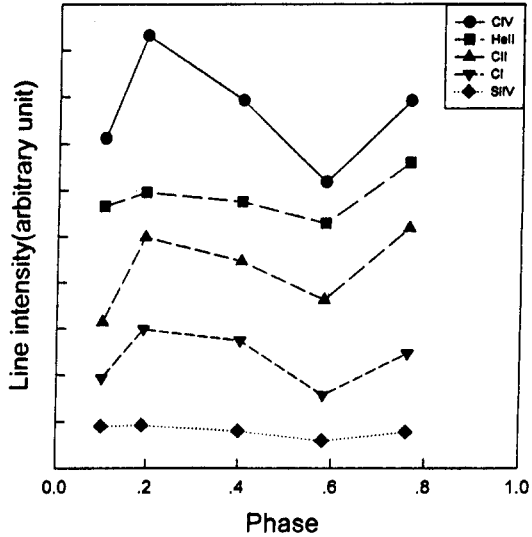


그림 1. 44i Boo의 전이 및 채층영역에서 나오는 자외선 방출선을 보여주는 IUE 자외선 스펙트럼의 예.

3. 자료처리

그림1에서 보는 바와 같이 자외선 방출선 들과 자외선 연속스펙트럼은 혼합되어 있어서 특정 방출선의 선세기를 확실하게 분리해 내는 작업은 불가능하다. 그래서, 40개의 관측스펙트럼을 검토하여 방출선의 세기가 뚜렷하게 변하는 몇 개의 방출선들을 연구 대상으로 선정하였는데, 그림1의 윗쪽에, 선정된 방출선의 위치를 나타내었다. 각 관측스펙트럼에서 해당 방출선 플럭스는 방출이 일어나고 있는 파장 부근에서 각각의 방출선 세기에서 연속스펙트럼 성분의 차이를 구한다음 적분해서 식 (1)과 같이 계산된다:

$$F_{line} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (F_{\lambda} - F_C) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda} \quad (1)$$

이렇게 얻어진 각 파장영역에서의 자외선 방출선세기를 Bless et al. (1976)이 제시한 방법을 이용 다음과 같이 자외선 등급으로 환산하여 보았다:

$$m_{UV} = -2.5 \log_{10}(F_{line}) - 21.1 \quad (2)$$

본 연구에 사용된 각 파장에서 계산된 평균 선세기와 자외선등급을 표1에 나타내었다.

44i Boo의 위상에 따른 방출선 세기의 변화를 살펴보기 위해 Duerbeck(1975)의 광도요소 (Ephemeris)를 이용하여 각 관측 시간의 공전주기에 대한 위상을 결정하였다.

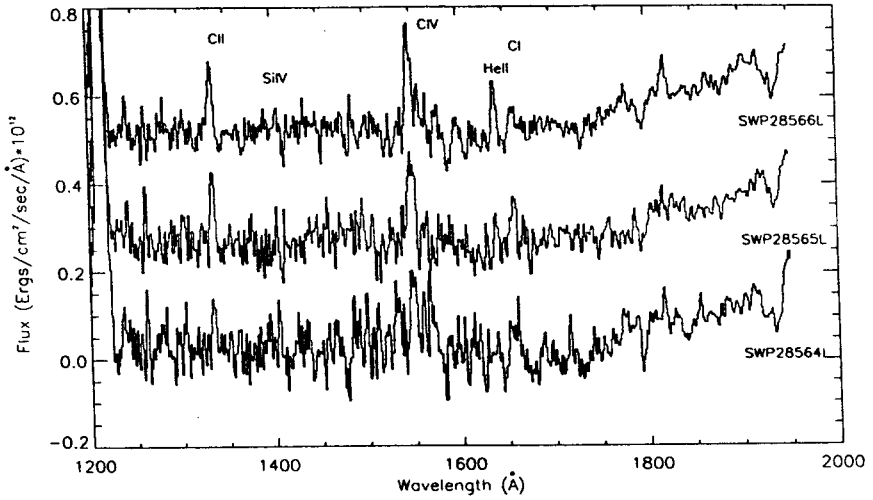


Figure 2. 44i Boo의 자외선 방출선 세기 광도곡선

$$MinI = JD_{Hel} 2443604.5880 + 0^d.26781753E \quad (3)$$

각 방출선 세기가 위상에 따라 어떻게 변하는지 보기 위해 작성한 공전주기에 따른 광도곡선을 그림2에 나타내었다. 그림2에는 1978년 12월 18일의 자료를 이용해서 얻어진 광도곡선의 예이다. 표1에 각 방출선들의 평균 플럭스를 나타내었기 때문에 그림2에서는 각 방출선들의 선세기의 변조 양상을 비교하기 위해 선세기를 y축 방향으로 임의의 양만큼 이동하여 나타내었다.

표 1. 44i Boo에서 방출되는 몇몇 자외선 방출선들의 평균 자외선 플럭스와 등급

	파장 (Å)	자외선 플럭스 ($\times 10^{-13}$ erg/cm ² /Å)	자외선 등급
CI	1657	6.56 ± 0.08	9.37 ± 0.12
CII	1335	7.55 ± 0.13	9.22 ± 0.18
CIV	1550	17.4 ± 0.17	8.30 ± 0.15
HeII	1640	8.70 ± 0.10	9.05 ± 0.15

4. 결과 및 토의

32개의 IUE 저분산 SWP 자료를 가지고 자외선 영역에서 채층활동의 증거를 나타내는 방출선들 선세기의 공전주기에 따른 광도곡선을 그려보았다. 표1에서 본 바와 같이 CIV방출선이 가장 강한 방출을 보였으며, CII, HeII, CI, SiIV의 순서로 방출선의 세기가 관측되었음이 확인되었다. 또한 방출선의 세기가 주기적으로 변하고 있음을 확인하였고, 모든 방출선들이 위상 0.2와 0.8부근에서 상대적으로 강한 방출선을 보인다. 이는 44i Boo의 표면에서 채층 및 전이영역의 활동성으로 인해 자외선 방출이 불균일하게 나오고 있음을 나타내는 것이라고 해석할 수 있다. 본 연구에서는 W UMa형 별들의 기하학적 모델 중, 자외선방출을 일으키는 채층활동이 별의 한쪽에서 더 강하게 일어나는 모델을 제안하고자 한다. 이 모델로 그림 2의 변광형태를 설명해보면, 더 활동성이 있는 채층의 영역이 위상 0.2와 0.8근처에서 관측자에게 보여지고 있는 것이다. 정량적인 분석을 위해 현상학적인 모델이 요구되고 있는 실정이다. 그림 2에서는 변광의 폭을 비교해 보기 위해 방출선 세기를 임의로 수평이동해서 나타내었는데 여기서 보면 각 방출선들의 방출선 변광폭이 아주 달라짐을 알 수 있다. 그림 2에 보여진 광도곡선을 사인파동형태로 변조한다고 가정하고 곡선맞추기(fitting)를 해본 결과, CIV, CII, CI, HeII, Si IV에 대해 각각 (3.50, 2.40, 1.85, 1.25, 0.34) $\text{erg}/\text{cm}^2/\text{\AA}$ 의 진폭을 얻어냈다. Vilhu & Heise(1986)는 이런 W UMa형 별들의 주기적 변광을 O:Connell효과로 해석하면서, 이 효과는 파장이 감소함에 따라 변광폭이 감소한다고 주장하였으나, 이 결과는 이와는 다른 양상을 보이고 있다. 즉, CIV(1550 Å)의 방출선 세기가 가장 큰 변광을 보이는 반면, 더 파장이 큰 CI(1657 Å)이 작은 양의 변광을 보였다. 이 사실은 자외선 방출 영역이 별 주위에 균일하게 분포되어 있지 않다는 또 다른 증거로 제시될 수 있다. 그림 2와 같은 광도곡선을 1979년, 1980년, 1986년 그리고 1989년의 자료들에 대해 그려본 결과 각 관측일에 대한 방출선들의 변광폭은 그림 2와 비슷함을 확인하였고, 또 각 방출선들의 변광폭이 시간에 지나면서 변하고 있음을 발견하였다. 이는 44i Boo의 채층 활동이 변화하고 있다는 증거이다. 44i Boo의 광학적인 광도곡선의 변광 정도도 심하게 변화되고 있음이 알려졌다 (Nha & Nha 1996). 또한 44i Boo의 코로나영역에서 방출되는 X-선도 EXOSAT, ASCA 및 ROSAT같은 X-선위성으로 관측된바 있는데, EXOSAT의 X-선관측자료 분석 (Vilhu & Heise 1986, Kim & Kim 1996)은 자외선 및 광학영역의 광도곡선과 비슷한 변광이 X-선영역에서도 존재함을 밝혀냈다. 그러나 ASCA가 관측한 44i Bootis의 X-선광도곡선에서는 그러한 뚜렷한 변광이 발견되지 않아서 그 원인을 규명 중에 있다 (Kim & Choi 1998). 이렇듯 여러 파장대에서 관측된 44i Boo의 자료들에 대한 일관된 해석이 아직 존재하지 않기 때문에 앞으로 꾸준한 연구가 계속되어야 한다. 강영운 등(1998)이 제시한 자외선 스펙트럼을 이용한 별의 표면온도를 결정하는 방법을 이용하여 44i Bootis의 표면온도를 추정해서 자외선영역에서의 연속스펙트럼 성분을 계산하는 연구가 진행되고 있다. 이런 방법으로 방출선스펙트럼의 선세기를 측정하면 본 연구에서 계산된 선세기의 정확도가 더 좋아질 것으로 기대한다. 다른 W UMa형 별들에서 나오는 자외선 방출스펙트럼도 현재 본 연구와 같은 방법으로 분석 중에 있다. 여러 별들의 경우에 대한 분석결과를 이용하여 일반적으로 W UMa형별들의 자

외선 방출 특성에 대한 체계적이고 통계적인 연구결과들은 후에 발표할 예정이다.

감사의 글: 이 논문은 교육부 기초과학연구소 학술연구조성비 (BSRI-97-5426) 의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 저자 (YK)는 심심한 감사를 표합니다.

참고문헌

- 강영운, 1997, 한국우주과학회지, 14, 59
강영운, 지나현, 한미려, 최영준, 한원용, 이우백, 1998, 한국우주과학회지, 15, 91
Bless, R.C., Code, A.D., & Airchild, E.T. 1976, *ApJ*, 203, 410
Cruddace, F. A., & Dupree, A. K. 1984, *ApJ*, 277, 263
Duerbeck, H. W. 1975, *IBVS* 1023
Kim, Y. & Kim, M. 1996, *JKAS*, 29, S247
Kim, Y. & Choi, C. 1998, in preparation
Nha, I.-S. & Nha, S. L. 1996, *JA&SS*, 13, 113
Vilhu, O., & Heise, J. 1986, *ApJ*, 311, 937