

MCV 자기구에서의 선방출
LINE EMISSION FROM THE MAGNETOSPHERE
OF MAGNETIC CATAclySMIC VARIABLES

김용기

충북대학교 천문우주학과

YONGGI KIM

Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University: ykkim@ast.chungbuk.ac.kr

Received Jul. 5, 2000; Accepted Aug. 16, 2000

ABSTRACT

A magnetic cataclysmic variable has a rotating magnetic white dwarf which accretes matter from its late type companion. Kim & Beuermann (1995) presented a phenomenological model of the accretion from its surrounding structure e.g., a disk into the magnetosphere of the white dwarf, and presented results for the spin modulated X-ray spectrum and light curves. Using this model, we calculate the optical continuum and line emission which result from reprocessing of X-rays in the accretion stream within the magnetosphere. Penning (1985) suggested the observed spin-modulated radial-velocity variations might result from reprocessing of X-rays in the disk. We, however, find the radiation can be originated from the magnetosphere accretion stream. We use the same geometrical model to calculate the optical and the X-ray behaviour. The results from the two wavelength bands are internally consistent. We conclude that this approach will increase the diagnostic accuracies of the results.

Keywords : Magnetic Cataclysmic variables, X-ray emission, Optical line emission

1. 서론

자기 격변변광성 (magnetic cataclysmic variables)은 만기형 동반자별에서 물질을 모으는 (accreting) 자기장을 띤 백색왜성을 지닌 구조계로서, 자기밀집성 표면으로의 물질 모임 현상에 대한 기본적인 아이디어를 제공해 준다. 자기 밀집성의 자기구 (magnetosphere)에로의 물질모임과정 (accretion process)에 대한 이론적인 연구는 1970년대 말과 1980년대 초의 몇몇 학자들이 발표한 연구에 기본 바탕을 두고 있다 (Ghosh & Lamb 1979 a, b; Anzer & Börner 1983). 그들은 자기구와 자기구를 둘러싸고 있는 모임원반 (accretion disk) 사이에 얇은 경계층이 존재한다고 제안하여, 케플러 운동을 하고 있는 모임원반 내의 물질이 자기구로 끌려 들면서 자기밀집성과 동시 자전을 하면서 자기 밀집성의 표면으로 모여진다고 주장하였다. 자기 밀집성 표면에 모여지는 물질들의 중력에너지 방출에 의한 복사파는 백색왜성, 중성자별의 경우 X-선 영역에 놓여 있음이 알려졌다. 기하학적으로 얇고 큰 모임원반의 존재에 대해선 아직 논란이 되고 있지만 자기격변변광성의 아류인 intermediate polar형 별중(이하 IP형 별이라 칭함), 적어도 몇몇 IP형별에서는 위의 제안을 뒷받침 해 주는 연

구가 발표되었다 (Warner 1985, Hameury et al. 1986, Hellier 1991, Patterson 1994). 관측적으로 IP형 별은 높은 자체 흡수 효과를 특징적으로 보여 주는데, Rosen et al. (1988), Norton & Watson (1989)들은 이 현상이 자기축의 기울어짐과 관계되어 물질모임 흐름에서 위상에 종속되는 광흡수가 자전에 따른 강도 변조를 일으킨다는 가설로 설명하였다. 그러나 아직까지도 IP형 별에서의 쌍극 자기장 (magnetic dipole)의 기울기, 표면 자기장의 형태나 방출영역의 구조 같은 물리량들에 대해서는 확실한 연구가 되어있지 않은 형편이다.

Norton (1993)는 물질모임과 흡수기하에 대한 간단한 모델을 이용하여 X-선 밝기의 자전 변조에 대해 연구 하였는데, 그는 단순히 이론적인 고찰만을 했기 때문에 어떤 정량적인 비교분석이 불가능하다. IP형 별의 물리적 상태에 대한 이해를 돕고자 Kim & Beuermann (1995, 1996; 이하 KB모델)은 백색왜성에서의 X-선 생성, 그 X-선의 떨어지는 물질 통과, 그리고 그 물질에 흡수되는 X-선 에너지가 가시광선, UV 영역으로의 재방출되는 현상등을 고려하는 3차원 현상학적 모델을 제시하였다. 이 모델은 물질 모임율 (accretion rate) 이 증가하면 X-선 세기도 증가하

고, 여기에 맞추어 흡수와 재방출된 빛의 방출도 증가한다는 면에서 모순이 없는 이론으로 생각된다. 또한 KB모델을 이용 X-선 관측과 가시광선 관측으로부터 IP형 별의 물리적 상태를 정량적으로 분석연구 가능성이 제시 되었다. Kim(1992, 1993, 1994, 1998)은 KB 모델을 이용한 IP형 별의 자기구 구조와 X-선 흡수등에 대한 연구결과들을 발표하였다. 이들 논문에서는 KB모델이 제공하는 이론적인 X-선 광도곡선과 관측되는 IP형 별의 X-선 광도곡선이 정성적으로 거의 비슷한 형태를 나타낸다는 사실이 확인되었다.

또한 자기밀집성 표면에서 나오는 X-선방출이 자기구의 물질들에 흡수되어 가시광선으로 재방출하는 현상은 Kim & Beuermann (1996)에 의해 다루어 졌다. 이들은 자기구의 물질이 X-선을 흡수하는 여러가지 가능한 경우들을 전부 고려하여서 X-선의 재방출을 계산하였고, 특히 가시광선 연속스펙트럼과 선운곽을 중심으로 한 계산결과들이 소개되었다. 가시광선 스펙트럼 또한 X-선 스펙트럼과 비슷한 자전효과를 보임이 밝혀졌으며, 자기구에서 나오는 선운곽의 이론적 계산결과를 분석하여 관측자료와의 비교분석의 필요성 및 가능성이 주장되었다.

본 논문에서는 KB모델을 이용 계산한 $H\beta$ 와 $H\gamma$ 의 선운곽에 대한 결과들을 중심으로 자기구에서의 X-선흡수에 대해 논의를 해 보려 한다.

2. 자기구에서의 X-선 흡수

자기격변변광성중 백색왜성의 주위에 모입원반 (accretion disk)이 형성되고, 그 모입원반의 안쪽 어느부분에 자기압력의 세기가 아주 커서 모입원반으로 부터 자기장으로 물질모입 (accretion)이 일어나는 IP형구조계의 자기구에 대한 물리를 연구하였다. 이들 IP형 별들은 가시광선과 X-선 파장영역에서 그 자전 주기와 공전주기에 따른 변광을 나타내는 천체중의 하나로, 이들 영역의 물리적 상태를 자세히 이해할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 IP형 별의 자기구의 기하로 채택되고 있는 자기장의 기하학적 모습을 그림 1 에 간단하게 소개하였다.

이런 IP형 구조계의 자기밀집성 표면 근처에서는 모여지는 물질 (accreting matter)이 좁은 자기장을 따라 표면으로 떨어지면서 열적제동복사에 의한 X-선이 방출되게 된다. 이 X-선은 등대효과를 내면서 관측자쪽으로 향하게 되는데, 그 과정중 X-선은 자기구의 물질을 통과하게 되고, 자기구에서 가시광선 형태로 재방출하게 된다. 본 연구는 주어진 물리상수들에 대해, 자기밀집성 표면의 X-선이 방출되는 곳에서의 X-선 세기를 계산하고, 그 X-선이 자기구에서 재방출 되면서 생기는 가시광선을 계산하며, 특히 선의 선운곽을 계산하고 그 결과를 분석하였다. 그림 1을 참고하여 X-선 스펙트럼과 가시광스펙트럼이 계산되는 과정을 간단하게 정리해 본다:

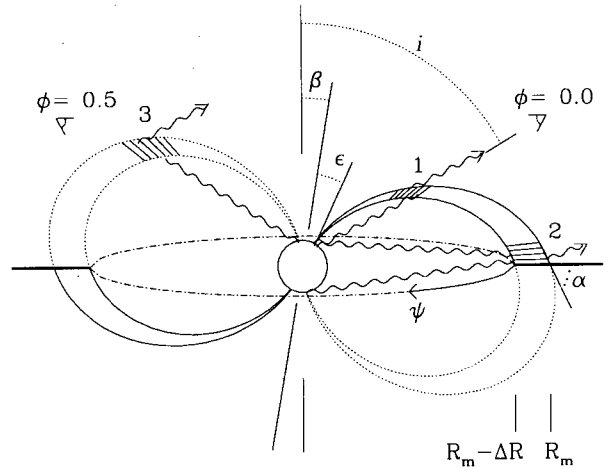


그림 1.— 물질을 모으는 자기 백색왜성 주위의 쌍극자 자기구 기하형태. Kim & Beuermann (1996)

주어진 자전위상에서 이 점X-선원들은 자기구의 물질에 흡수된 후 관측되거나, 전혀 흡수되지 않고 관측되거나 또는 아예 백색왜성에 가려서 관측되지 못하게 된다. 이 세가지 경우를 3차원적으로 검토하여서 자기구 물질에 흡수되어 약해지는 X-선 세기가 구해진다. 광원에서 r만큼 떨어진 자기구를 통과할 때 그 점에서의 X-선 세기를 r의 제곱에 반비례하여 계산하고 ($I_{0,\nu} = L/4\pi r^2$), 흡수거리 (l)를 자기장 기하에서 계산한 다음, 자기구를 통과하는 물질의 밀도를 에너지보존법칙, 질량보존법칙, 자속보존법칙을 이용 계산하면, X-선이 시선방향에 느끼는 기동밀도 ($N_H = \rho l$)와 광학적 두께 ($\tau = \sigma \times N_H$)가 계산된다. 이때 흡수하는 물질은 부분흡수한다고 가정한다. 즉 입사하는 X-선중 f_p 만큼만 흡수를 느끼고 나머지 $1-f_p$ 는 그냥 투과해 버린다. 이 때의 에너지 대차대조를 살펴보면 흡수되고 투과하는 양 (1), 흡수된 양 (2), 그리고 흡수되지 않고 투과되는 양 (3)으로 구분된다:

$$I_{0,\nu} f_p e^{-\tau} \tag{1}$$

$$I_{0,\nu} f_p (1 - e^{-\tau}) \tag{2}$$

$$(1 - f_p) I_{0,\nu} \tag{3}$$

각 자전위상에서 72개의 점 X-선원에 대해 흡수되고 투과하는 양 (1)과 흡수되지않고 투과되는 양 (3)을 합하면 자전위상에 따른 X-선 광도곡선을 얻을 수 있다. 흡수된 양 (2)은 가시광선으로 재방출되는데, 자기구를 방위각방향으로 36개, 고도방향으로 20개의 체적소로 나누어 어느 한개 점X-선원의 빛이 자기구의 한 체적소를 지나갈때 흡수되는 에너지양은 다음과 같이 계산된다.

$$E_a = \int I_{0,\nu} f_p (1 - e^{-\sigma N_H}) A d\nu \quad (4)$$

여기서 A는 흡수단면적이고, $I_{0,\nu}$ 는 체적소에 들어올때의 복사강도이다.

이런 방법으로 한 체적소에 총 72개의 점X-선원이 쬐어져서, 흡수되는 총에너지를 계산하여, 스테판 볼츠만법칙으로 흑체복사온도가 구해진다.

국부적 열적평형 (LTE)하에서 이 온도를 가진 체적소에서 나오는 연속스펙트럼과 선방출스펙트럼은 체적소에 흡수된 에너지가 그대로 흑체복사형태로 방출되게 되는데, 이온화평형과 에너지평형이 이루어지는 조건을 만족하는 스펙트럼을 근사적으로 계산하면 다음과 같다. $B_\nu(T)$ 는 온도에 의해 주어지는 프랑크복사방정식이다:

$$F_\nu \sim \pi B_\nu(T) (1 - e^{-2\tau}) \quad (5)$$

주어진 위상 ϕ_i 에서 관측자에게 보여지는 체적소들의 수와 면적을 계산하여, 각 체적소에서 나오는 가시광선의 스펙트럼을 합하여서 자전주기에 따른 가시광선의 광도곡선이 계산된다.

$$F_\nu(\phi_i) = \sum_{l=1}^{36} \sum_{m=1}^{20} A^{l,m} B_\nu(T^{l,m}) (1 - e^{-\tau^{l,m}/\mu^{l,m}}) \mu^{l,m} \quad (6)$$

여기서 $\mu^{l,m} = \cos\vartheta$ 은 (l, m) 격자의 방향코사인이다.

각 자전주기에 따라 보여지는 체적소의 숫자와 체적소의 면적이 다르기 때문에 자전주기에 따른 가시광선의 세기 변화를 예측해 볼 수 있다. 방출선운곽은 열적운동과 난류운동 (thermal and turbulent motion)에 기인한 도플러향을 고려해서 계산되어 졌는데, 이때 Voigt함수는 Gauss함수가 이용되었다. 총 720개의 체적소에서 방출되는 가시광스펙트럼을 합하는 과정에서 거의 같은 시선속도를 지니는 체적소들이 관측되면 그 속도에 준하는 편이를 갖는 선운곽들이 중첩이 되어 극대구조가 생겨난다. 만일 관측자 쪽으로 거의 같은 시선속도로 멀어져가는 체적소들과 가까워지는 체적소들이 중첩된다면 이중극대구조를 얻어낼 수 있다.

이렇게 계산하면, 각 자전위상에 따라 달라지는 선운곽의 형태를 볼 수 있는데 이 형태를 등가너비와 청.적편이비를 구해서 분석하였다. 등가너비는 선운곽 최고 밝기의 절반되는 곳에서 선운곽과 같은 면적을 지닌 직사각형의 너비로 정의하는데, 등가너비가 크면 선스펙트럼을 내는 체적소의 시선속도가 서로 다른경우가 많이 관측된다는 것을 의미한다. 등가너비가 작을수록 거의 같은 시선속도를 가진 체적소가 관측된다. 청.적편이비는 청색편이된 선운곽의 등가너비와 적색편이된 선운곽의 등가너비의 비로서

1보다 크면 청색편이되는 체적소가 적색편이되는 체적소보다 많이 관측된다는 것을 뜻한다. 위에 기술된 KB의 현상학적 모델결과가 관측과 직접 비교될 수 있다고 주장되는 바 (Kim & Beuermann 1995, 1996), 본 연구는 선의 선운곽의 계산을 통해서, 그 가능성 여부를 연구하여 보고, KB모델에서 사용되는 모델 상수와 결과로 나오는 가시광선 스펙트럼과의 중속성 검토를 해 보았다.

3. 선방출 계산 결과와 관측결과의 비교 및 토의

본 연구에서는 표 1과 같은 모델상수를 사용하였다. 계산된 가시광 스펙트럼은 연속스펙트럼위에 H α (6564.680 Å), H β (4862.730 Å), H γ (4341.730 Å), H δ (4102.920 Å)의 방출스펙트럼을 포함하고 있다. 본 연구에서는 H β (4862.730 Å) 와 H γ (4341.730 Å) 주위의 가시광영역을 자세히 살펴보았다. 어떤 모델상수를 변화할때는, 특별히 명시된 경우를 제외하곤 다른 모델상수 값들은 표 1에 열거된 값을 이용하여 고정시키고 계산하였다. 즉 궤도경사각을 변화할때는 표 1의 다른 상수들은 변화시키지 않고 가시광스펙트럼이 계산되어졌다.

표 1.— 사용된 모델 상수

| 모델상수 | 단위 | 모델상수 값 |
|----------------------|---------------------------|------------|
| 백색왜성 질량 M_{wd} | M_\odot | 1.0 |
| 자기장세기 B | 10^6G | 5 |
| 물질모임을 \dot{M} | 10^{16}g s^{-1} | 1 |
| 상호작용거리 ΔR | R_m | 0.3 |
| 초기물질속도 v_1 | $v_{\text{kep}}(R_m)$ | 0.5 |
| filling factor f_p | | 0.5 |
| 자기축 기울기 β | | 10° |
| 경사각 i | | 70° |

가시광 스펙트럼에 대해 논하기 전에 표 1의 모델상수를 가지고, 720개의 각 격자의 유효온도를 구하여 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 보면 자기극 주변과 모임원반 부근의 상호작용 영역부근의 물질온도가 상당히 높은 것을 볼 수 있다. 이들의 온도는 물질 모임울에 따라 급격하게 변화한다.

H β 와 H γ 영역의 계산 결과들을 비교해 볼때 알 수있는 현상들을 요약해 보면, 첫째 H γ 선운곽은 궤도경사각에 민감하게 변화하고, 둘째 모임원반에서 기대되는 H γ 선운곽의 이중극대구조가 자기구에서도 생겨날 수 있으며, 세째 등가너비가 H γ 선운곽이 H β 의 경우보다 더 크며, 네번째 궤도경사각에 따른 청적편이비 변화가 H β 와 H γ 선운곽 경우 서로 다름을 알 수 있다는 것이다. H γ 선운곽의 모델상수 중속성을 다른 계산결과 및 관측결과들과 비교해보면서 자기구에서의 가시광선 방출에 대한 물리적인 이해를 도모해 본다. 전체적으로 볼 때 H γ 선운곽의 이론적인 계산은 H β 선운곽과 정성적으로 같은 형태를 보여준다. 특

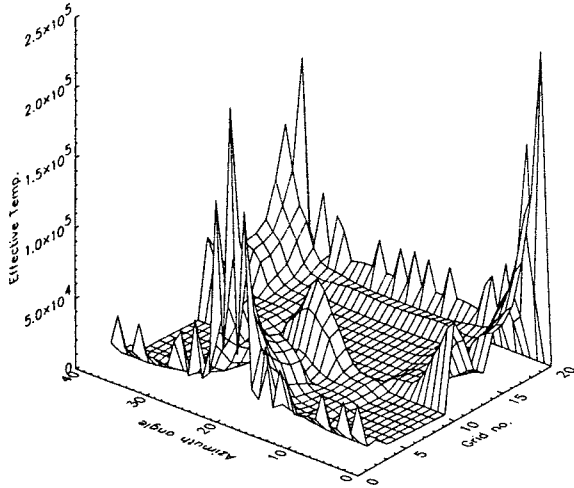


그림 2.— X-선 흡수에 의해 뜨거워진 각 격자들의 유효 온도. 격자번호 1은 윗자기극에 해당하고, 10은 모입원 반부근의 격자, 그리고 20은 아래 자기극과 가까운 격자를 표시한다. 또다른 축은 방위각에 따라 10도간격으로 나눈 격자를 나타내며, 유효온도의 단위는 K이다.

히 연속스펙트럼에 관한 광도곡선을 비교해 볼 때 비슷한 결과가 도출되었다.

그림 3에 궤도경사각에 따른 $H\gamma$ 선운곽 계산 결과를 보였다. 이들의 변화 역시 $H\beta$ 선운곽의 결과와 비슷한 양상을 보여주는데, 즉 궤도경사각에 따라 선운곽의 형태가 심하게 변화되고 있고, 특히 이중극대구조를 보이는 선운곽도 재생될 수 있어 관측자료를 분석하는 진단학적 측면에서 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 지금까지 선운곽에서의 이중극대구조는 주로 모입원반에서 기인된 것이라고만 생각되어왔으나, 본연구의 결과에서 Kim & Beuermann (1996)이 $H\beta$ 선운곽의 경우에 주장하였듯이 자기구에 있는 물질도 자기밀집성표면에서 나오는 X-선의 재방출에 의해 선운곽방출을 할 수 있고, 그래서 관측되는 이중극대구조는 모입원반성분과 자기구성분으로 나누어서 분석되어야한다는 사실이 다시 확실하게 되었다.

또한 궤도경사각이 작을 때 이중극대구조 정도가 강하게 나타나는데 이는 자기구의 물질덩어리의 시선속도변화가 궤도경사각이 작은 경우 심하게 되는데서 기인된다고 쉽게 이해할 수 있다. 이들 극대구조의 시선속도를 구하여서 표 2 나타내었다. 1 \AA 은 63 km/s 의 시선속도와 상응하고, 음의 부호는 청색편이, 양의 부호는 적색편이를 의미한다. 즉 극대구조가 실험실파장의 왼쪽에 있을 때 음의 부호를 갖게되는데 이 경우 많은 체적소들이 백색왜성이 자전

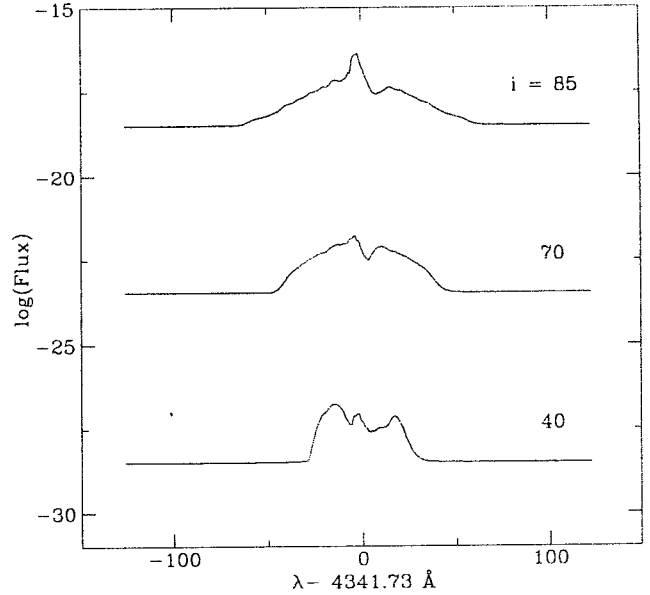


그림 3.— 경사각 $i = 40, 70, 85^\circ$ 일 때의 $H\gamma$ 선운곽. 극대구조의 형태가 다르게 보이는 것은 관측자에게 보이는 격자들속의 물질속도에 대한 정보를 담고 있다.

하면서 관측자쪽으로 향하고 있음을 나타낸다. 반대로 적색편이를 나타내는 극대구조에서는 자기구의 원들이 관측자쪽에서 멀어져가고 있는 상황을 말해준다. 이와같이 선운곽의 형태를 살펴보면 자기구의 물질모임 덩어리의 움직임에 대한 물리상황을 어렵해 볼 수 있다. $i=40^\circ$ 일 때 주극대구조는 관측자쪽으로 945 km/s 의 시선속도로 다가오고 있으며, $i=70^\circ$ 일 때는 189 km/s 로, 그리고 $i=85^\circ$ 일 때는 63 km/s 의 시선속도로 다가오고 있음을 알 수 있다. 즉 표 1에 나온 모델상수로 계산한 모델실험에서는 선운곽을 내는 체적소들의 시선속도가 같은 덩어리가 음의 부호에 놓이게 되고, 이는 관측자 쪽으로 다가오는 시선속도가 비슷한 체적소들이 많이 관측되고 있음을 의미한다.

위상 0.5일 때 궤도경사각에 따른 선운곽의 계산결과(그림 3)에서 경사각의 변화에 따라 선운곽의 형태들이 심하게 변화함을 확인한 것 외에 선운곽들이 이중극대구조를 나타내는 선운곽의 형태는 선운곽을 방출하는 체적소들의 운동정보를 우리에게 제공해 줌을 위에서 확인하였다. 이런 현상은 또한 궤도경사각외에 물질모임을, 초기속도, 자기축기울기 등을 변화시켜서 실행된 여러 계산들에서도 확인할 수 있었다. 이런 선운곽의 형태들은 Reinsch (1994)나 Reinsch & Beuermann (1994)등이 발표한 intermediate polar형 별들의 선운곽의 형태와 비슷하다. 즉 선운곽의 형태들의 비교에 의해 이들별의 물리상수를 결정해 보는 연구에 본 연구결과가 이용될 수가 있다.

계산된 선운곽에서 그 근처에서의 연속스펙트럼의 강

도, 선운곽의 강도, 선운곽의 등가너비 그리고 청적편이비를 계산결과 또한 관측자료들과의 비교가능성을 열어주었다. 물질모임율이 변할 때 등가너비의 변화를 보면 보다 작은 물질모임율의 경우 등가너비가 3배 이상이 커짐을 볼 수 있다. 물질모임율이 커질 때 등가너비가 작아지는 것은 자기구 속의 물질밀도가 커지고, 이로 인해 각위상에서 시선속도가 비슷한 체적소들이 동시에 관측되기 때문에 일어나는 현상으로 해석할 수 있다. 여러 모델상수들의 조합으로 계산을 해보면 사인파형태의 광도곡선보다 더 복잡한 형태의 등가너비 광도곡선도 생겨남이 확인되었다. 이런 결과들은 결과를 정리하는 과정에서 배제시켰는데, 왜냐하면 관측되는 자기격변광성들의 등가너비 광도곡선들이 사인형태를 보이기 때문이다.

표 2.— 자전주기 0.5일 때 궤도경사각에 따른 극대구조의 시선 속도

| 경사각 | 극대구조 | 편이정도 Å |
|-----|------|-----------|
| 40 | 1 | -15 |
| | 2 | -1 |
| | 3 | 19 |
| 70 | 1 | -3 |
| | 2 | 11 |
| 85 | 1 | -1 |
| | 2 | 16 |

$H\beta$ 의 경우 (Kim & Beuermann 1996)와 비교해 보면, 같은 모델상수조합에 대해 등가너비가 크게 나타남이 확인되었다. 이는 선운곽을 주로 내는 체적소들과 $H\beta$ 선운곽을 주로 방출하는 체적소들이 다르다는 것을 뜻하게 되는데 이들의 시선속도들이 다르기 때문에 등가너비에 차이가 난다고 해석할 수 있다. 등가너비가 크다는 것은 또한 내는 체적소들의 시선속도의 분산이 큰데서 기인된다. 선부근 연속스펙트럼의 광도곡선은 $H\beta$ 선운곽의 경우와 비슷하게 사인형태를 보인다. 이는 가시광선영역의 측광자료들에서 보여주는 광도곡선과 유사하다. 이렇게 다양하게 모델상수들을 변화시켜가면서 선운곽을 계산해보면 여러 모델상수들의 변화에 따라 달라지는 선운곽의 형태가 관측된 자기격변광성의 관측자료와 비교되어 이들 별들의 물리상수를 결정하는데 이용될 수 있음을 볼 수 있다.

모델상수의 변화에 따른 선운곽계산결과에서 가장 중요한 특징적인 결과중의 하나는 궤도경사각에 따른 청적편이비 (V/R ratio)의 광도곡선이다. 그림 4에 보여진 청적편이비의 광도곡선은 Kim & Beuermann (1996)의 $H\beta$ 선운곽의 경우와는 다른 형태를 보여준다. $H\beta$ 경우 궤도경사각이 클때의 청적편이비의 광도곡선과 궤도경사각이 작을 때의 광도곡선의 형태가 정 반대였음에 반해 $H\gamma$ 선운곽은 궤도경사각에 따라 광도곡선의 형태가 변하지 않음을 볼

수 있다. Kim & Beuermann (1996)은 $H\beta$ 선운곽의 청적편이비의 관측과 모델계산의 비교를 통해 궤도경사각을 어렵해 볼 수 있다고 주장했다. Intermediate Polar형별의 경우 식(eclipse)이 일어나지 않을 때 궤도경사각을 직접적으로 알아낸다는 것이 불가능하기 때문에, 이런 주장은 궤도경사각이란 중요한 물리상수를 간접적으로 결정해주는 계기가 되기 때문에 상당히 고무적으로 생각되었다. 그런데 이론적인 $H\gamma$ 선운곽의 경우 궤도경사각에 따라 이런 광도곡선 반전현상이 나타나지않아 자기격변광성 관측의 진단학적 차원에서 중요하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

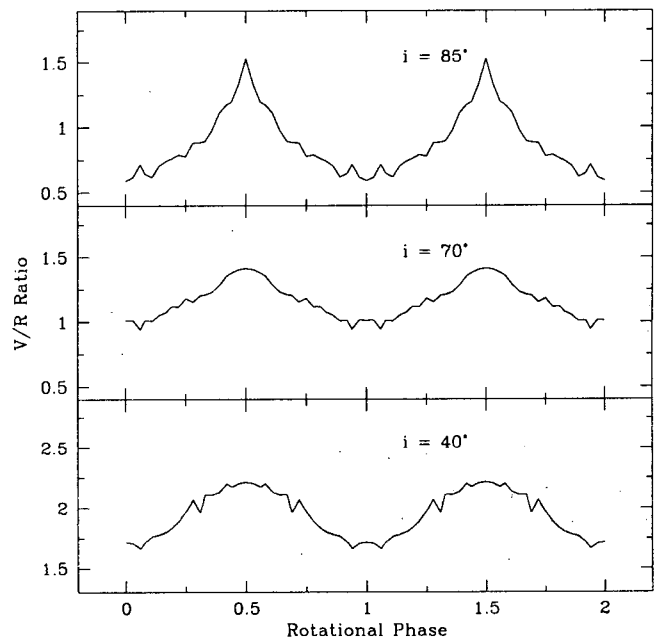


그림 4.— 경사각 $i = 40, 70, 85^\circ$ 일 때의 $H\gamma$ 선운곽의 청적편이비.

4. 결론

본 연구에서 계산된 모델은 아직 자전주기에 따른 선운곽의 계산이기 때문에 앞으로 공전주기에 따른 변화까지 설명해 주는 모델로의 발전이 필요하다. 또한 모임원반스펙트럼을 계산하는 부분까지 포함시키면 일반적으로 자기격변광성의 X-선 및 가시광선의 스펙트럼 및 광도곡선을 이론적으로 계산해 낼 수 있어 관측과의 비교를 통한 이들 별들의 모델상수가 결정될 수 있게 될 것이다. 앞으로 이런 정량적인 연구가 꼭 필요한 형편이다. 지금까지의 관측자료 분석은 주로 스펙트럼의 통계적 fitting 등에 국한되어져왔기 때문에 본연구와 같은 현상학적 계산이 관측자료 분석에 응용된다면 이 분야의 연구에 큰 기여를 할 것이다.

본 연구에서는 자기격변변광성의 자기구에서 방출되는 선운곽을 계산하여, 이 선운곽에서도 KB모델이 관측과 비교가능한 결과를 제시해 주는지 살펴보고, 그 결과를 토대로 채택된 모델을 관측 결과와 비교분석하는데 있어서의 이론적 장점 및 개선점들을 살펴보았다. 지금까지는 자기격변변광성의 자기구 구조를 설명하기 위한 현상학적인 모델로서 KB모델이 유일한 형편이므로, 토의된 결과를 토대로 정량적인 연구 분석을 계속한다면, 자기격변변광성의 자기구물리연구에 선구적인 역할을 할 수 있을 것으로 결론지을 수 있다.

본 연구는 이론계산과 관측자료의 비교분석을 통해 물리상수를 결정해 보는 정량적인 연구를 위한 준비작업으로서 기여를 하고 있다. 특히 궤도경사각에 따른 선운곽의 변화에 따른 결과는 관측자료의 분석에 직접 응용될 수 있고, 그래서 KB모델과 같은 이론적 모델을 관측자료와 정량적 비교를 하기 위해서 취해야 되는 초기 모델 상수를 택하는데 있어 좀더 물리적으로 이해 가능한 초기값 결정에 이 연구의 결과가 큰 역할을 하게 될 것이다. 아직은 정량적인 비교 연구가 국내외적으로 발표되지 않은 상황이기 때문에 이 연구의 결과는 앞으로의 자기격변변광성의 자기구 물리 연구에 많은 영향을 미칠 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구의 일부는 한국과학재단 '96 핵심전문연구의 연구비 지원으로 진행되었습니다 (과제번호: 961-0203-012-1). 저자는 또한 독일 과팅겐대학의 Beuermann교수의 성의있는 토론에 감사드립니다.

참고문헌

- Anzer U. and Börner G. 1983, A&A, 122, 73
 Ghosh P. and Lamb F.K., 1979a, Ap. J., 232, 259
 Ghosh P. and Lamb F.K., 1979b, Ap. J., 234, 296
 Hameury J., King A.R. and Lasota J. 1986, MNRAS, 218, 695
 Hellier C. 1991, MNRAS, 251, 693
 Kim Y. 1992, Dissertation, TU Berlin Germany
 Kim Y. 1992, JA&SS, 9, 171
 Kim Y. 1993, JA&SS, 10, 113
 Kim Y. 1994, JA&SS, 11, 1
 Kim Y. 1998, JA&SS, 15, 59
 Kim Y. and Beuermann K.(KB) 1995, A&A, 298,165
 Kim Y. and Beuermann K. 1996, A&A, 307,824
 Norton A.J. 1993, MNRAS, 265, 316
 Norton A.J. and Watson M.G. 1989, MNRAS, 239, 853
 Patterson J. 1994, PASP, 106, 209
 Reinsch K. 1994, A&A, 281, 108
 Reinsch K. and Beuermann K. 1994, A&A, 282, 493
 Pening W. R. 1985, ApJ, 289, 300
 Rosen S.R., Mason K.O. and Cordova F.A. 1988, MNRAS, 231, 549
 Warner B. 1985, in: Cataclysmic variables and low mass X-ray binaries eds. Lamb and Patterson, 269