

두개의 식쌍성 V343 Aql와 CX Aqr의 광시간 효과

김천휘[†], 정장해, 이응삼
충북대학교 자연과학대학 천문우주학과, 기초과학연구소

LIGHT-TIME EFFECTS IN TWO ECLIPSING BINARIES V343 AQL AND CX AQR

Chun-Hwey Kim[†], Jang Hae Jeong, and Yong Sam Lee
Dept. of Astron. & Space Sci., College of Natural Science and Institute for Basic Science Research,
Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea
E-mail: kimch@chungbuk.ac.kr

(Received April 23, 2005; Accepted May 24, 2005)

요 약

두개의 식쌍성 V343 Aql와 CX Aqr의 가능한 모든 극심시각을 수집하여 두별의 공전 주기변화를 연구하였다. 그 결과 두 별의 공전주기는 모두 포물선 모양의 영년 변화 위에 주기적인 항이 겹쳐 변화한다. V343 Aql은 -2.61×10^{-7} d/y의 영년 주기감소를, 반면 CX Aqr은 $+2.55 \times 10^{-8}$ d/y의 영년 주기증가를 보인다. 두 별의 영년 주기변화의 가능한 원인들에 대하여 논의하였다. 공전주기의 주기적인 변화의 원인을 제3천체에 의한 광시간 효과로 해석하였다. 광시간 궤도의 주기, 반진폭과 이심율은 V343 Aql인 경우, 각각 30.3년, 0.0092일, 그리고 0.85이며, 반면 CX Aqr인 경우, 각각 33.0년, 0.0037일, 그리고 0.64으로 계산되었다. V343 Aql와 CX Aqr계에 제안된 제3천체의 성질들이 논의된다.

ABSTRACT

All times of minimum light for two eclipsing binaries V343 Aql and CX Aqr were collected and analyzed to study their orbital period variations. It was found that the orbital periods for both stars have varied in a cyclical way superposed on a parabola. A secular period decrease of -2.61×10^{-7} d/y for V343 Aql was calculated while CX Aqr showed a secular period increase of $+2.55 \times 10^{-8}$ d/y. Possible causes of secular period variations for two systems were discussed. The cyclical period variation was interpreted as light-time effect due to a third body. The resultant period, semi-amplitude and eccentricity of the light time orbit were calculated to be 30.3y, 0.0092d and 0.85, respectively, for V343 Aql and 33.0y, 0.0037d and 0.64, respectively, for CX Aqr. The properties of the third bodies suggested in V343 Aql and CX Aqr systems were discussed.

Key words: eclipsing binary, V343 Aql, CX Aqr, period variation, light time effect, third-body

[†]corresponding author

1. 서 론

최근 상당히 많은 근접쌍성계에서 보이지 않는 제3, 또는 제4천체의 발견을 보고하는 연구가 많이 수행되고 있다(Corporon *et al.* 1996, Goecking *et al.* 1994, Harvin *et al.* 2003, Kim *et al.* 2003, 2005, Lorenz *et al.* 1998, Lu *et al.* 2001 등). 근접쌍성계에서 제3, 또는 제4천체의 존재의 검출은 근접쌍성계의 기원에 관한 문제, 다중성계의 역학과 안정성, 더 나아가 그러한 역학계의 진화의 문제를 이해하기 위한 강력한 관측적 증거를 제시한다.

근접쌍성계에서 제3천체에 대한 증거로서 제시되는 것은 1) 식쌍성의 극심시각의(O-C)도 분석을 통하여 제3천체에 기인한 광시간 효과의 검출, 2) 제3천체의 분광 스펙트럼의 검출 및 그 시선속도의 변화, 3) 시선속도 곡선에서 구한 근접쌍성계의 질량중심 속도(시스템 속도)의 주기적인 변화, 4) 광도곡선에서 제3천체 광도의 검출, 5) Speckle 관측으로부터 근접쌍성계의 질량중심의 위치 변화 검출, 또는 제3천체의 영상 검출 등이다. 위에 열거한 사항들 중 어느 한가지 것을 만족하는 경우, 그 나머지 항목에 대한 증거도 제시함으로써 제3천체의 존재에 대한 주장을 공고히 할 수가 있다(Kim *et al.* 2005).

어떤 식쌍성계가 보이지 않는 제3천체를 갖고 있을 때, 식쌍성계의 질량 중심은 삼중성계의 질량 중심 주위로 궤도운동을 하며, 그로 인하여 생긴 광시간 효과 때문에 식쌍성계의 제1 극심시각과 제2 극심시각은 같은 위상으로 주기적인 변화를 겪는다. 따라서, 식쌍성의 극심시각의 (O-C)도 분석을 통하여 제1, 제2 극심시각의 주기적인 변화 양상을 검출함으로써 역으로 보이지 않는 제3천체의 존재를 간접적으로 확인할 수 있다. 이와 같은 방식으로 식쌍성에서 보이지 않는 제3천체 또는 그 이상의 천체를 조직적으로 검출하려는 대표적 시도가 Frieboes-Conde, Herczeg & Hog(1973), Mayer(1990), Borkovits & Hegedus(1996), Demircan(2000), Selam & Demircan(2000) 등에 의하여 수행되었다. Chambliss(1992)는 다중성이면서 그 계의 한 성분이 식쌍성인 별들에 대한 관측적 성질을 조사하였다.

우리는 식쌍성의 극심시각의 (O-C)도 분석을 통하여 보이지 않는 제3천체 또는 제4천체를 검출하는 일련의 연구를 수행하여 왔다(Kim *et al.* 1997, 2003, 2005, Lee *et al.* 2004, 김천휘 등 2002, 이동주 등 2004). 이 연구는 그 뒤를 잇는 연구로서 두 개의 식쌍성 V343 Aql와 CX Aqr계에서도 제3천체의 존재가 가능성을 두 별의 공전주기 연구를 통하여 보고하고자 한다.

2. 공전주기 연구

2.1 이론적인 광시간 궤도

어떤 근접쌍성의 주위에 제3천체가 있어, 근접쌍성이 삼체계의 질량 중심 주위로 궤도운동을 한다면, 제3천체에 의한 광시간 궤도의 광도요소는

$$C = T_0 + PE + \tau \quad (1)$$

으로 표현할 수 있다. 여기서 τ 는 제3천체에 의한 광시간으로,

$$\tau = \frac{K}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega}} \left[\frac{1 - e^2}{1 + e \cos \nu} \sin(\nu + \omega) + e \sin \omega \right], \quad K = \frac{a_{12} \sin i' \sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega}}{2.59 \times 10^{10}}, \quad (2)$$

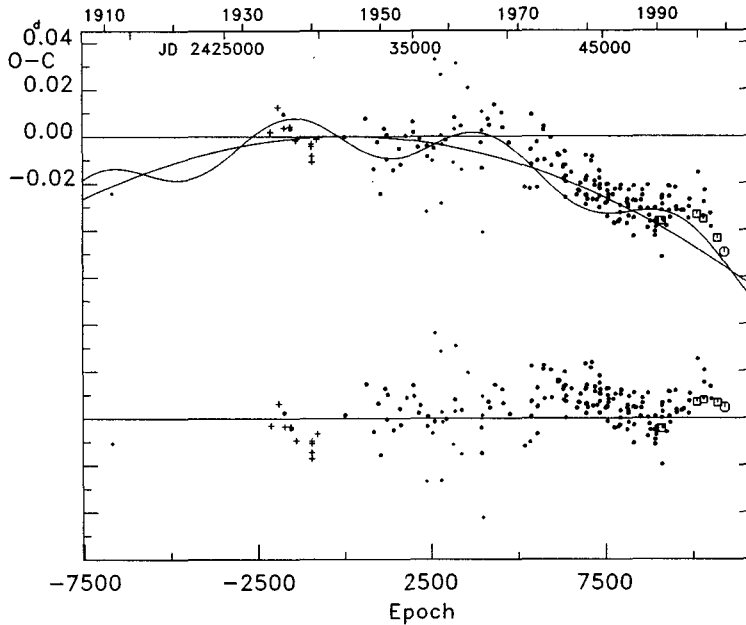


그림 1. V343 Aql의 ($O - C_1$)도. 위 그림에서 포물선은 Refert(1982)가 정한 (3)식의 이차항을 나타내며, 그 위에 겹쳐진 곡선은 이차항과 sine 항을 합쳐 그린 것이다. 아랫 그림은 관측치에서 (3)식 전체를 빼 준 잔차를 나타낸다. 최근 관측치는 (3)식으로 부터 벗겨 나고 있음을 알 수 있다.

으로 표시된다. 여기서, e, ω, ν, a_{12} , 그리고 i' 은 각각 광시간 궤도의 이심율, 근성점 이각, 진근점 이각, 장반경, 궤도경사각을 나타낸다. (1) 식은 모두 7개의 미지수(unknown)를 갖고 있다(τ 의 더 자세한 기술은 Irwin(1952, 1959)의 논문을 참조). 그 미지수란 $T_0, P, a_{12}\sin i', \omega, e, P',$ 그리고 T 인데, 여기서 P' 은 광시간 궤도의 주기이며, T 는 식쌍성의 질량중심이 광시간 궤도의 근성점을 통과하는 시각이다. 관측된 극심시각을 (1) 식에 맞추어 7개의 미지수를 결정할 때 Levenberg-Marquart 방법(Press *et al.* 1989, 이하 LM으로 약함)을 사용하였는데, LM은 비선형 함수를 최소자승 방식으로 반복적으로 맞추는 방법이다. 그런데, V343 Aql과 CX Aqr 모두 주기가 영년 변화를 보이기 때문에 우리는 (1)식에 포물선 항(AE^2)을 더하여 사용하였다.

2.2 분석 결과

2.2.1 V343 Aql

Sonneberg 사진 건판을 조사하던 중 Morgenroth(1933)는 V343 Aql가 변광한다는 사실을 처음으로 발견하였다. 그 후 Olivier(1936)는 이 별을 Algol형 식쌍성으로 분류하였고, 광도요소를 $Min. I. = JD2428085.57 + 1.^d8443E$ 로 결정하였다. 안시 광도곡선을 완성한 Beyer(1937)는 광도요소를 $Min. I. = JD2428443.417 + 1.^d84457E$ 로 개정하였다. 이 별의 절대량은 Taylor & Alexander(1940)에 의하여 표 1에 수록한 바와 같이 산출되었는데, 그들은 안시 관측과 사진관측을 통하여 각각 얻은 광도곡선을 이용하였다. V343 Aql의 주기 연구는 약 1980년까지 관측된 극심시각을 이용

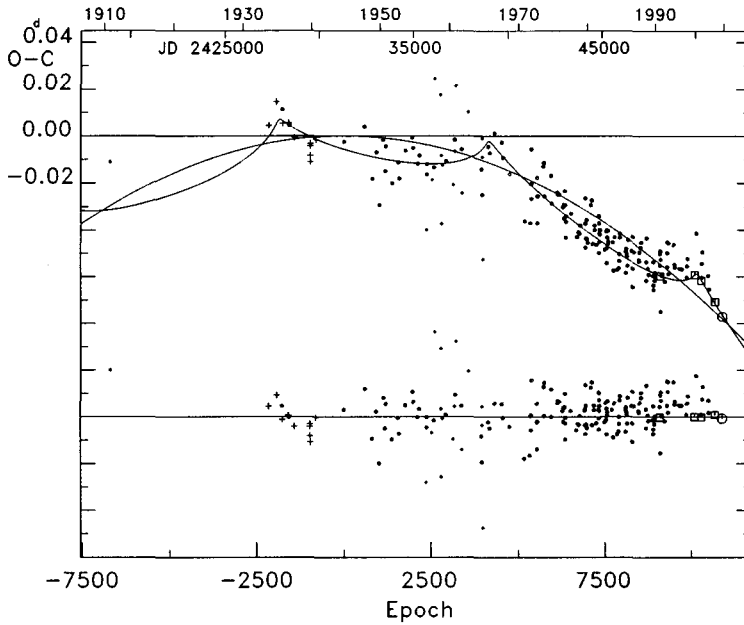


그림 2. V343 Aql의 ($O - C_2$)도. 위 그림에서 포물선은 이 논문에서 정한 이차항을 나타내며, 그 위에 겹쳐진 곡선은 이차항과 광시간 궤도 항을 합쳐 그린 것이다(표 2 참조). 아랫 그림은 관측치에서 이론치를 빼 준 잔차를 나타낸다.

하여 Refert(1982)에 의하여 집중적으로 연구되었는데, 그는 이 별의 공전 주기가 아래로 향한 포물선 위에 주기적으로 변하는 sine 곡선이 중첩된 상태로 변하다고 처음으로 보고하였다. 그가 제시한 광도요소는

$$C_1 = \text{JD}2431328.3852 + 1.84460449E - 0.47 \times 10^{-9}E^2 - 0.0087 \sin(0.001117(E - 5446)) \quad (3)$$

이다. 여기서, sine 함수 속에 있는 인수들의 단위는 모두 radian이다. 그 이후 이 별의 연구는 주로 극심시각 관측 보고에 한정되었다. 발표된 모든 극심시각은 Kreiner, Kim & Nha(2001, 이하 KKN으로 약함)의 database에 수록되었다. 이 별의 광전 및 CCD 관측, 또는 분광관측이 수행되었다는 보고는 현재까지 없다.

V343 Aql의 공전 주기 변화 양상을 파악하기 위하여 사용된 극심시각은 총 214개(안시 관측치: 183개, 사진 관측: 10개, 사진 plate 관측치: 16개, 광전 및 CCD 관측치: 5개)로 모두 제1극심시각이다. 먼저 우리는 Refert가 제안한 (1) 식의 광도요소가 현재까지 관측된 극심시각을 맞추는 가를 조사하였다. 그림 1의 윗 부분은 (3) 식의 선형 광도요소로 작성한 V343 Aql의 ($O - C_1$)도이다. 그림에서 포물선은 (3) 식의 이차항을, 그 위에 중첩되어 그린 곡선은 포물선과 사인 항을 합쳐 그린 것이다. 그 아래에 관측된 극심시각에서 전체 광도요소를 빼 준 잔차를 그렸다. 그림에서 보듯이 (3) 식의 이차항과 사인항 모두 관측 자료를 빗겨 나고 있으며, 대체로 1970년 이후 관측 자료 아래에 위치하고 있다. 그럼에도 불구하고 Refert의 광도요소는 관측된 극심시각의 장기(long-term) 변화 경향을

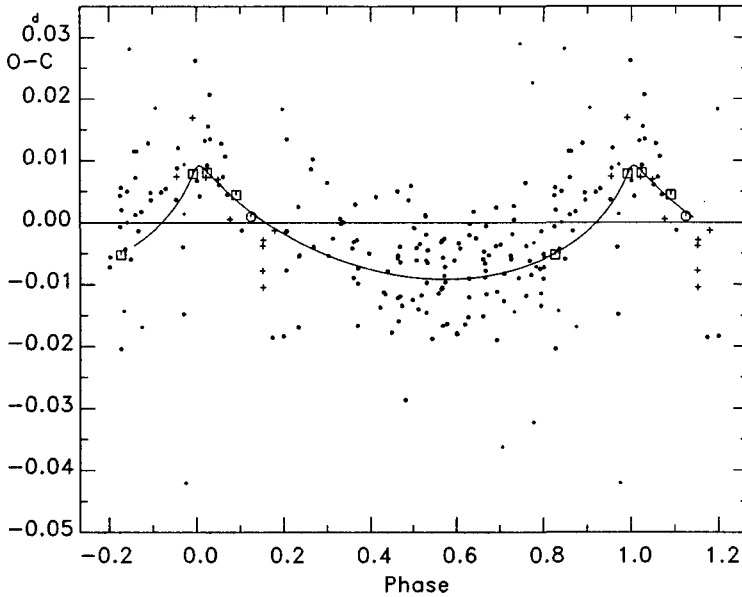


그림 3. V343 Aql의 광시간 궤도. 그림의 가로축은 이 논문에서 구한 30.3년 주기로 위상화(phased) 하였다. 실선은 표 2에 수록된 해로 그린 광시간 궤도를 나타낸다.

바르게 예측하고 있음을 알 수 있다.

우리는 Refert의 광도요소를 개선하기 위하여 먼저 극심시각 자료의 질을 조사하였다. 그림 1에서 보듯이 관측 방법에 따라 $(O - C_1)$ 잔차의 산란 폭(scatter band)이 다르다. 이 차이가 짧은 시간에 발생한 공전주기 변화에 기인한다기 보다는, 관측 오차에 연유한다고 보는 것이 더 타당하다고 생각한다. 따라서, 우리는 $(O - C_1)$ 잔차의 산란 폭(scatter band)이 관측오차와 관계가 있다고 가정하여 산란 폭의 역 제곱에 해당하는 가중치를 관측 방법마다 다르게 두었는데, 이는 Kim *et al.*(1997)이 YY Eri의 극심시각 분석에 사용하였던 방법과 같다. 즉, 안시 관측과 plate 관측은 1, 사진 관측은 2, 광전과 CCD 관측은 30의 가중치를 할당하였다. 그런 다음 앞 절에서 서술한 광시간 궤도와 이차항 광도요소에 모든 극심시각 자료를 맞추는 작업을 수행하였다. 그 결과를 표 2에 수록하였고, 산출된 선형 광도요소를 이용하여 그림 2와 같이 V343 Aql의 새로운 $(O - C_2)$ 도를 작성하였다. 그림에서 보듯이 새로운 광도요소는 거의 대부분의 극심시각을 잘 맞추고 있다.

새로 산출된 이차항의 계수로 부터 V343 Aql의 영년주기 감소는 연간 약 -2.61×10^{-7} d에 이른다. 보통 Algol형 근접쌍성의 영년 주기 감소는 질량이 큰 성분 별에서 작은 성분 별로 질량이 이동(Pringle 1975)할 때 일어 나거나, 또는 한 성분 별(또는 두 성분 별 모두)이 자기 활동이 강한 별일 경우, 자기 제동(magnetic braking)에 의한, 즉, 자기력 선을 따라 이동된 질량의 외부 방출에 의한 각운동량 손실(Angular Momentum Loss, 이하 AML으로 약함)이 발생할 때 일어난다(Huang 1966, Bradstreet & Guinan 1994).

먼저, V343 Aql의 관측된 영년 주기감소를 보존적인 질량이동 이론(Pringle 1975)에 의거하여 해

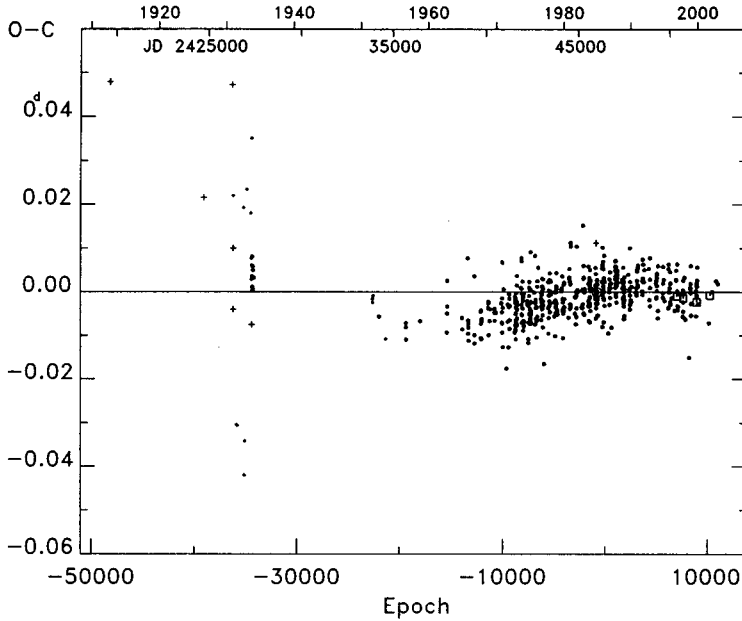


그림 4. (4)식으로 작성된 CX Aqr의 $(O - C_3)$ 도.

석하면, 질량이 큰 주성으로 부터 매년 약 $3.37 \times 10^{-7} M_{\odot}$ 의 가스가 반성으로 이동하는 것으로 계산된다. 이 계산에서 표 1에 주어진 V343 Aql의 질량이 사용되었다. 그런데, 제안된 질량이동은 V343 Aql의 영년 주기감소의 원인이 될 수 없다. 그 이유는 질량이동이 일어나려면 주성이 안쪽 로쉬 한계면(inner Roche limiting surface)을 채워야 하는데, 이 논문에서 계산한 바에 의하면 V343 Aql은 분리형 쌍성이어서 질량이동이 일어날 수 없기 때문이다. 표 1에 주어진 V343 Aql의 성분별의 질량과 Kopal(1978)의 식들을 이용하여 주성과 반성의 안쪽 로쉬 반경은 각각 $5.32 R_{\odot}$ 과 $4.50 R_{\odot}$ 으로 계산된다. 반면 V343 Aql의 반경은, 표 1에서 보듯이 각각 $2.60 R_{\odot}$ 과 $3.31 R_{\odot}$ 이어서 두 별 모두 그들의 로쉬 한계면에 잘 유포되어 있다. 둘째, 자기 제동으로 AML의 손실이 발생할 때 초래되는 이론적인 영년주기감소율은, Bradstreet & Guinan(1994)의 논문에 주어진 식을 사용하면, 약 $-6.00 \times 10^{-9} \text{d/y}$ 으로 계산된다. 이 값은 관측된 값보다 약 44배나 작은 값이다. 따라서, 자기 제동에 의한 AML의 손실 과정은 관측된 영년주기감소의 주된 원인이 될 수 없다. 우리가 구한 관측된 영년주기감소율이 확실히 맞다면, 이를 설명할 이론은 아직 없는 셈이다. 이 문제를 관측적인 측면에서 해결하는데 고려할 수 있는 방법들을 생각한다면, 표 1에 주어진 Taylor & Alexander(1940)가 결정한 V343 Aql의 질량과 반경이 부정확할 수 있다는 데서 찾아 볼 수 있다. Koch, Plavec & Wood(1970, 이하 KPW으로 약함)은 1968년까지 여러 학자들이 측광 관측되어 얻은 약 90개의 광도곡선 해를 그들이 정한 A에서 E까지의 평가 기준에 따라 평가하였다. KPW에 의하면, Taylor & Alexander의 V343 Aql의 광도곡선 해는 “Doa” 등급으로 낮은 등급으로 평가되었다. 여기서 첨자 “o”는 광도곡선이 빈약할 때, 첨자 “a”는 잘못된 분석을 하였을 때 주어진다. 이와 같은 점에서 앞으로 정밀 CCD 관측에 의한 새로

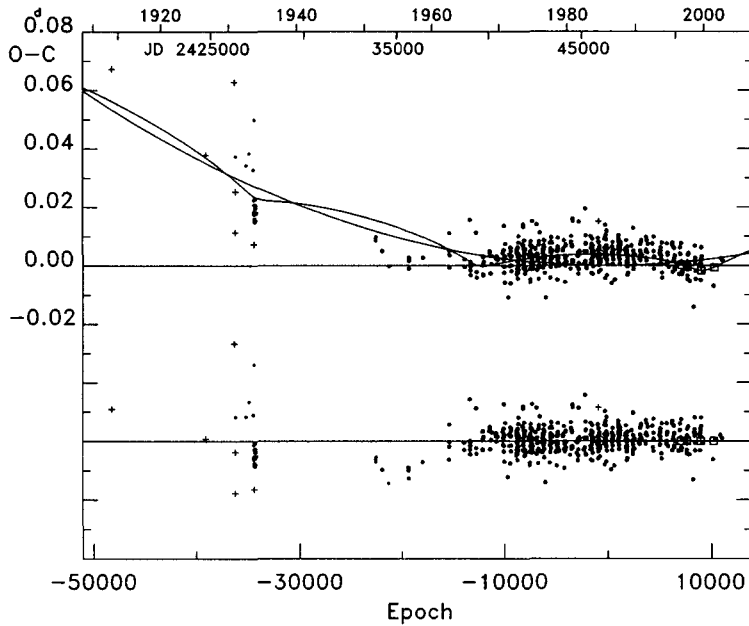


그림 5. CX Aqr의 (O - C₄)도. 위 그림에서 포물선은 이 논문에서 정한 이차항을 나타내며, 그 위에 겹쳐진 곡선은 이차항과 광시간 궤도 항을 합쳐 그린 것이다(표 2 참조). 아랫 그림은 관측치에서 이론치를 빼 준 잔차를 나타낸다.

은 광도곡선, 로쉬 모형에 기초를 둔 광도곡선 분석, 정밀 분광관측에 의한 새로운 시선 속도곡선, 그리고 좀 더 많은 극심시각 관측 등이 V343 Aql의 공전주기 변화 문제 뿐만 아니라 천문학적 기본 변수들을 정확히 결정하는데 필수적일 것으로 생각한다.

한편, 표 2에서 보듯이 광시간 궤도의 반진폭, 궤도주기, 이심율은 각각 0.^d0092, 30.^y3, 0.85이다. 그림 3은 V343 Aql의 관측된 극심시각에서 이차항을 빼준 잔차를 광시간 궤도 주기로 위상화(phase)한 (O-C)도 이다. 실선은 이론적인 광시간 궤도를 나타낸다. 이 그림에서 보듯이 안시관측의 산란폭이 매우 크지만 (O-C) 잔차는 전체적으로 광시간 궤도를 잘 따르고 있음을 알 수 있다. 표 2에 주어진 광시간 궤도로부터 제3천체의 질량함수는 $f(m) = 0.00546M_{\odot}$ 으로 계산된다. 이 질량함수로 제3천체의 질량을 여러 궤도 경사각(i_3)에 대하여 구해보면, 최소 질량($i_3 = 90^{\circ}$)은 약 $0.66M_{\odot}$ 이고, $i_3 = 30^{\circ}$ 일 때의 질량은 약 $1.41M_{\odot}$ 이다. 따라서, $i_3 \geq 30^{\circ}$ 일 때의 제3천체의 질량 범위는 $0.66M_{\odot} \leq M_3 \leq 1.41M_{\odot}$ 이다. 질량함수와 제3천체의 질량을 구하는 일련의 과정은 Kim(1995)의 논문에 자세히 설명되어 있다. 이 계산에 필요한 V343 Aql의 절대 질량은 표 1에 수록한 이 별의 천문학적 기본 자료를 사용하였다.

2.2.2 CX Aqr

Hoffmeister(1934)에 의하여 처음으로 CX Aqr의 변광이 발견된 직후, 바로 Jensch(1934)는 안시 및 사진 관측을 수행하여 이 별의 광도곡선을 완성하였다. 그는 CX Aqr을 Algol형 식쌍성으로 분류

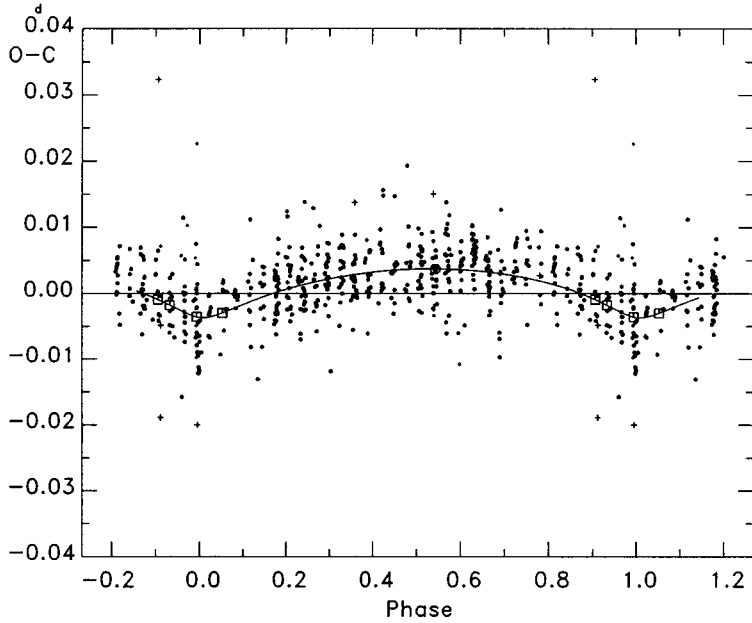


그림 6. CX Aqr의 광시간 궤도. 그림의 가로축은 이 논문에서 정한 33.0년 주기로 위상화 하였다. 실선은 표 2에 수록된 해로 그린 광시간 궤도를 나타낸다.

하였고, 광도요소를 $Min. I. = JD2426331.278 + 0.^d55599E$ 으로 결정하였다. 그 후 이 별의 더 구체적인 물리적인 성질이 광전관측과 분광관측을 처음으로 수행한 McFarlane et al.(1986)에 의하여 밝혀지게 된다. 그들에 의하면, CX Aqr은 $1.2 M_{\odot}$ 의 주성이 분광형이 F5인 주계열성이고, 로쉬 한계면을 채운 $0.6 M_{\odot}$ 의 반성은 G9의 진화된 별로 이루어진 근접축 근접쌍성계이다(표 1 참조). 또한, 그들은 이 별의 광도요소를 $Min. I. = JD2445995.3924 + 0.^d5559864E$ 으로 개정하면서, 작은 양의 주기 증가가 그들이 연구하였던 시점으로 부터 과거 50여년 기간 사이에 있었다고 하였다. 그 이후 이 별의 연구는 주로 극심시각 관측 보고에 한정되었다. 발표된 모든 극심시각은 KKN의 database에 수록되었다. 그 database에 수집된 극심시각은 총 543개(안시 관측치: 515개, 사진 plate 관측치: 16개, 사진 관측치: 7개, 광전 및 CCD 관측치: 5개)로 역시 모두 제1극심시각이다.

우리는 CX Aqr의 공전주기 변화 양상을 살펴보기 위하여 KKN이 제시한 광도요소

$$C_3 = JD2446453.5249 + 0.^d55598593E \quad (4)$$

를 이용하여 CX Aqr의 $(O - C_3)$ 도를 그림 4와 같이 그렸다. 그림에서 보듯이, CX Aqr의 공전주기는 최초의 극심시각이 관측된 1912년부터 현재에 이르기 까지 90여년을 지나면서 크게 변하여 왔음을 알 수 있다. 비록 1913-1926년과 1934-1951년 사이에 관측된 극심시각이 없어 그 기간동안의 공전주기 변화를 알 수가 없으나, 그 사이의 $(O-C)$ 값을 유추하는 것이 불가능 하지는 않다. 또한, 관측 방법에 따라 $(O-C)$ 잔차의 산란 폭(scatter band)이 매우 다르기 때문에 V343 Aql에서와 같이 관측 방법마다 다른 가중치를 두었다. 즉, 안시 관측과 plate 관측은 1, 사진 관측은 2, 광전과 CCD 관측은

표 1. V343 Aql와 CX Aqr의 천문학적 기본 자료.

궤도요소	V343 Aql ^a	CX Aqr ^b		단위
		북사 대기(주성)	대류 대기(주성)	
M_1	4.01	1.19	1.19	M_{\odot}
M_2	2.57	0.64	0.64	M_{\odot}
R_1	2.60	1.29	1.33	R_{\odot}
R_2	3.31	1.15	1.16	R_{\odot}
A	11.83	3.47	3.47	R_{\odot}
Sp_1	B4		F5	-
Sp_2	F5		G9	-

^aTaylor & Alexander(1940), ^bMcFarlane *et al.*(1986)

30의 가중치를 할당하였다. 그런 다음 2.1절에서 서술한 광시간 궤도와 이차항 광도요소에 모든 극심 시각 자료를 맞추는 작업을 수행하였다. 이 때, 사진 plate 관측치인 4개의 극심시각(JD2426512.503, JD2426546.418, JD2426929.481, JD2426958.400)은 다른 이웃하는 극심시각의 (O-C) 값과 짧은 시간에 많은 차이가 나기 때문에 계산에서 제외하였다. 계산 결과를 표 2에 수록하였고, 산출된 선형 광도요소를 이용하여 그림 5와 같이 CX Aqr의 새로운 (O-C)도를 작성하였다. 그림에서 보듯이 새로운 광도요소는 거의 대부분의 극심시각을 잘 맞추고 있다.

새로 산출된 이차항의 계수로 부터 CX Aqr의 공전주기는 연간 약 $+3.02 \times 10^{-8}d$ 으로 연속적으로 증가하고 있다. 보존적인 질량이동 이론을 적용하면 CX Aqr의 영년 주기 증가는 질량이 작은 반성으로 부터 매년 약 $2.51 \times 10^{-8}M_{\odot}$ 의 가스가 주성으로 이동하고 있음을 암시하고 있다. 이와 같은 질량이동은 McFarlane(1986)이 광도곡선 분석으로 부터 구한 반성이 로쉬 한계면을 채운 준분리형(semi-detached type)의 로쉬 기하와 배치되지 않는다.

한편, 표 2에서 보듯이 광시간 궤도의 반진폭, 궤도주기, 이심율은 각각 $0.^d0037$, $33.^y0$, 0.64 이다. 그림 6은 CX Aqr의 관측된 극심시각에서 이차항을 빼준 잔차를 광시간 궤도 주기로 위상화한 (O-C)도 이다. 실선은 이론적인 광시간 궤도를 나타낸다. 이 그림에서 보듯이 안시관측의 산란폭이 매우 크지만 (O-C) 잔차는 전체적으로 광시간 궤도를 잘 따르고 있음을 알 수 있다.

표 1과 2에 주어진 질량과 광시간 궤도로부터 제3천체의 질량함수는 $f(m) = 0.000246M_{\odot}$ 으로 계산된다. 이 질량함수로 제3천체의 질량을 여러 궤도 경사각(i_3)에 대하여 구해보면, 최소 질량($i_3 = 90^{\circ}$)은 약 $0.10M_{\odot}$ 이고, $i_3 = 30^{\circ}$ 일 때의 질량은 약 $0.20M_{\odot}$ 이다. 따라서, $i_3 \geq 30^{\circ}$ 일 때의 제3천체의 질량 범위는 $0.10M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.20M_{\odot}$ 이다.

3. 요약과 논의

이 논문에서 우리는 두개의 근접쌍성 V343 Aql와 CX Aqr의 극심시각 분석을 통하여, 두 별의 공전주기 변화 양상을 살펴 보았다. 그 결과 두 별의 공전주기가 모두 포물선 모양의 영년 변화 위에 주기적인 향이 겹쳐 변화한다는 것을 알게 되었고, 영년 변화와 주기적인 변화의 가능한 원인들을 살펴 보았다.

첫째, V343 Aql은 관측적으로 약 $-2.61 \times 10^{-7}d/y$ 의 영년 주기감소를 보인다. 그런데, V343 Aql은 Algol형 쌍성이지만 성분별 모두 그들의 로쉬 한계면에 잘 유포되어 있는 분리형 쌍성이기

표 2. V343 Aql와 CX Aqr의 광시간 궤도 및 포물선 해.

궤도요소	V343 Aql	CX Aqr	단위
T_0	2431328.3776 (20)	2446453.5214 (5)	JD Hel
P	1.84460681 (20)	0.55598626 (6)	day
A	$-6.58(20) \times 10^{-10}$	$2.29(67) \times 10^{-11}$	day
K	0.0092	0.0037	day
e	0.85(18)	0.639 (18)	-
ω	64 (29)	260 (14)	deg
T	2427871 (145)	2451517 (229)	JD Hel
P_3	30.3 (0.2)	33.0 (4.0)	year

때문에 주성에서 반성으로의 질량이동은 V343 Aql의 영년 주기감소의 원인이 될 수 없다. 또한, 자기 제동에 의한 AML의 손실 역시 관측된 영년주기감소의 주된 원인이 될 수 없다. 따라서, 관측된 영년주기감소율이 확실히 맞다면, 이를 설명할 이론은 아직 없다. 이 문제를 관측적인 측면에서 해결하는데 고려할 수 있는 방법들을 생각한다면, 표 1에 주어진 Taylor & Alexander(1940)가 결정한 V343 Aql의 질량과 반경이 부정확할 수 있다는 데서 찾아 볼 수 있다. Taylor & Alexander의 V343 Aql의 광도곡선 해는 KPW에 의해 "Doa"의 낮은 등급으로 평가되었다. 이와 같은 점에서 앞으로 정밀 CCD 측광 관측, 분광관측, 그리고 많은 극심시각 관측 등이 공전주기 변화 문제를 해결하고 천문학적 기본 변수들을 정확히 결정하는데 필수적인 것으로 생각한다.

V343 Aql의 주기적인 변화의 원인을 제3천체에 의한 광시간 효과로 가정하고 구한 광시간 궤도의 주기, 반진폭과 이심율은 각각 30.3년, 0.0092일, 그리고 0.85이다. 그림 2에서 보듯이 V343 Aql계에서 제3천체가 진실로 존재한다면 그 별은 삼중성의 질량중심을 이제까지 약 3년정도 공전하였다. 그런데, 관측된 총214개의 극심시각 중에서 5개를 제외한 209개의 극심시각이 부정확한 안시관측, 사진관측, 사진 plate 관측에 의한 것이다. 따라서, 우리가 구한 광시간 궤도는 앞으로 정밀 CCD 관측에 의하여 개선될 여지가 충분히 있다.

둘째, CX Aqr의 주기 변화 연구는 이 논문에서 처음으로 수행되는 것이다. 이 별은 약 $+3.02 \times 10^{-8}$ d/y의 영년 주기 증가를 보인다. 보존적인 질량이동을 가정하면, 이는 질량이 작은 반성으로 부터 매년 약 $2.51 \times 10^{-8}M_{\odot}$ 의 가스가 주성으로 이동하고 있다. 이와 같은 질량이동은 반성이 로쉬 한계면을 채우고 있을 때 가능한데, McFarlane(1986)이 광도곡선 해에 의하면, CX Aqr의 반성은 로쉬 한계면을 채우고 있어, 주기 변화 분석과 광도곡선 해의 결과가 서로 일치하고 있다. V343 Aql와 마찬가지로 CX Aqr의 주기적인 변화의 원인을 제3천체에 의한 광시간 효과로 가정하고 구한 광시간 궤도의 주기, 반진폭과 이심율은 각각 $0.^d0037$, $33.^y0$, 0.64이다. CX Aqr계에 제안한 제3천체의 질량 범위는 $i_3 \geq 30^{\circ}$ 일 때 $0.10M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.20M_{\odot}$ 으로 상당히 작다. 최근에 Henry et al.(1999)은 허블 우주망원경의 FGS3로 관측한 자료를 분석하여 작은 질량을 가진 16개의 천체들의 질량-광도관계를 제시하였다. 그들이 분석한 별들은 모두 다중성의 성분이며, 그것들의 질량은 $0.07M_{\odot}$ 에서 $0.30M_{\odot}$ 사이에 있어, H-R 도에서 모두 주계열의 끝에 위치한다. CX Aqr 계에 제3천체가 진실로 존재한다면, 그것은 작은 질량을 가진 천체의 성질과 진화를 연구하는 데 기여할 수가 있다. 식쌍성의 극심시각의 분석으로부터, 약 $0.3M_{\odot}$ 보다 작은 질량을 가진 제3천체가 발견되었다는 보고는 그리 많지 않다. 갈색 왜성으로 알려진 약 $0.05M_{\odot}$ 의 제3천체가 검출된 V471 Tau(Guinan & Ribas 2000)를 포함

하여 10여개 만이 보고되어 있다(Demircan 2000).

V343 Aql와 CX Aqr는 다른 식쌍성에 비해 그 성질이 많이 알려지지 않은 별이다. V343 Aql은 광전 또는 CCD 관측에 의한 광도곡선이 아직 부재하고, 분광관측도 시도되지 않았다. 광전관측에 의한 CX Aqr의 광도곡선과 분광시선속도 곡선은 McFarlane *et al.*(1986)의 것이 유일하다. 그나마, 시선속도곡선은 단지 8점의 시선속도에 의하여 정의된 것으로 그 해가 부정확하다. 발표된 이 별들의 천문학적 기본 인자(질량, 반경, 온도, 밝기 등)들은 앞으로 새로운 측광과 분광 관측에 의해 개정되어야 할 것이다. 이와 더불어 이 연구에서 제안된 제3천체의 성질을 더 자세히 밝히기 위해서는 내부 오차가 약 ± 0.0003 이상 되는 정밀한 극심시각 관측이 많이 필요하다.

감사의 글: 이 논문을 세심히 읽고 여러 사항들을 제안하고 지적하여 준 심사자들에게 감사합니다. 이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 김천휘, 이재우, 이충욱, 이동주, 강영운 2002, 한국우주과학회지, 19, 47
 이동주, 이충욱, 이재우, 김승리, 오규동, 김천휘 2004, 한국우주과학회, 21, 283
 Beyer, M. 1937, AN, 263, 149
 Borkovits, T., & Hegedus, T. 1996, A&AS, 120, 63
 Bradstreet, D. H., & Guinan, E. F. 1994, ASP Conference Series, ed. A. W. Shafter (San Francisco: ASP), 56, 228
 Chambliss, C. R. 1992, PASP, 104,663
 Corporon, P., Lagrange, A.-M., & Beust, H. 1996, A&A, 282, L21
 Demircan, O. 2000, Variable Stars as Essential Astrophysical Tools, ed. C. Ibanoglu (Netherlands: Kluwer), p.615
 Friboes-Conde, H., Herczeg, T., & Hog, E. 1973, A&A, 4, 78
 Goecking, K. D., Duerbeck, H. W., Plewa, T., Kaluzny, J., Schertl, D., Weigelt, G., & Flin, P. 1994, A&A, 289, 827
 Guinan, E. F., & Ribas, I. 2000, ApJ, 546, L43
 Harvin, J. A., Gies, D. R., & Penny, L. R. 2003, BAAS, 203.1211
 Henry, T. J., Franz, O. Z., Wasserman, L. H., Benedict, G. F., Shelus, P. J., Ianna, P. A., & McCarthy, Jr., D. W. 1999, ApJ, 512, 864
 Hoffmeister, C. 1934, AN, 251, 19
 Huang, S. S. 1966, AnAp, 29, 331
 Jensch, A. 1934, AN, 251, 327
 Kim, C.-H. 1995, JA&SS, 12, 179
 Kim, C.-H., Jeong, J. H., Demircan, O., Muyesserglu, Z., & Budding, E. 1997, AJ, 114, 2753
 Kim, C.-H., Lee, J. W., Kim, H.-I., Kyung, J.-M., & Koch, R. H. 2003, AJ, 126, 1555
 Kim, C.-H., Nha, I.-S., & Kreiner, J. M. 2005, AJ, 129, 990

- Koch, R. H., Plavec, M., & Wood, F. B. 1970, *Catalogue of Graded Photometric Studies of Close Binaries* (Philadelphia: Univ. of Pennsylvania Printing Office)
- Kopal, Z. 1978, *Dynamics of Close Binary Systems* (London: Reidel), pp.322-323
- Kreiner, J. M., Kim, C.-H., & Nha, I.-S. 2001, *An Atlas of (O-C) Diagrams of Eclipsing Binary Stars* (Krakow: Pedagogical Univ. Press), Part 1-6
- Irwin, J. B. 1952, *ApJ*, 116, 11
- Irwin, J. B. 1959, *AJ*, 64, 149
- Lee, J. W., Kim, C.-H., Han, W., Kim, H.-I., & Koch, R. H. 2004, *MNRAS*, 352, 1041
- Lorenz, R., Mayer, P., & Drechsel, H. 1998, *A&A*, 332, 909
- Lu, W., Rucinski, S. M., & Ogloza, W. 2001, *AJ*, 122, 402
- Mayer, P. 1990, *BAIC*, 41, 231
- McFarlane, T. M., Bell, S. A., Adamson, A. J., & Hilditch, R. W. 1986, *MNRAS*, 223, 607
- Morgenroth, O. 1933, *AN*, 249, 385
- Olivier, C. P. 1936, *Popular Astronomy*, 44, 257
- Pringle, J. E. 1975, *MNRAS*, 170, 633
- Press, W., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., & Vetterling, W. T. 1992, *Numerical Recipes* (Cambridge: Cambridge Univ. Press), Chapter 14
- Refert, J. B. 1982, *PASP*, 94, 485
- Selam, S. O., & Demircan, O. 2000, *Variable Stars as Essential Astrophysical Tools*, ed. C. Ibanoglu (Netherlands: Kluwer), p.605
- Taylor, P. H., & Alexander, R. S. 1940, *U. Penn. Pub.*, 6, Pt.III, 26