

## 근접축쌍성 EG Cep의 공전주기 연구

김천휘, 정장해, 이용삼  
충북대학교 자연과학대학 천문우주학과, 기초과학연구소

### A PERIOD STUDY OF THE NEAR CONTACT BINARY EG CEP

Chun-Hwey Kim, Jang Hae Jeong, and Yong Sam Lee

Dept. of Astronomy & Space Science, 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 21, 2006; Accepted May 10, 2006)

#### 요 약

근접축쌍성 EG Cep의 8개의 새로운 극심시각을 제시하였다. 우리의 관측치를 포함한 EG Cep의 관측된 모든 극심시각을 수집하여 이 별의 공전 주기변화를 연구하였다. 그 결과 EG Cep의 공전주기는 위로 향한 포물선 모양의 영년 변화 위에 주기적인 항이 겹쳐 변화한다는 것을 발견하였다. 관측된 영년 주기 증가량은 약  $3.22 \times 10^{-8} \text{d/y}$ 이며, 보존적인 질량이동을 가정하면, 이는 매년 약  $3.18 \times 10^{-8} M_{\odot}$ 의 항성 가스가 질량이 작은 반성으로 부터 주성으로 이동하고 있음을 의미한다. 공전주기의 주기적인 변화의 원인을 제3천체에 의한 광시간 효과로 해석하였다. 광시간 궤도의 주기, 반진폭과 이심율은, 각각 38.4년, 0.0034일, 그리고 0.29이다. EG Cep계에 제안한 제3천체의 질량 범위는  $i_3 \geq 30^{\circ}$  일 때  $0.10 M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.21 M_{\odot}$ 으로 상당히 작다.

#### ABSTRACT

New eight times of minimum light of the near-contact binary EG Cep were presented. All times of minimum light for EG Cep, including ours, were collected and analyzed to study its orbital period variation. It was found that the orbital period have varied in a cyclical way superposed on an upward parabola. A secular period increase of  $3.22 \times 10^{-8} \text{ d/y}$  was calculated. Under the assumption of a conservative mass transfer, it implied that the stellar gaseous material of about  $3.18 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{year}$  is transferring from the less massive secondary component to the primary. The cyclical period variation was interpreted as light-time effect due to an unseen third body in the system. The resultant period, semi-amplitude and eccentricity of the light time orbit were calculated to be 38.4, 0.0034 and 0.29, respectively. The mass range of the tertiary proposed in the system is deduced to be quite small as  $0.10 M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.21 M_{\odot}$  for  $i_3 \geq 30^{\circ}$ .

*Key words:* eclipsing binary, EG Cep, period variation, light time effect, third-body

## 1. 서 론

1958년에 Strohmeier(1958)에 의하여 식쌍성으로 알려진 EG Cep (BD +76°790, HD 194089, BV 200, TYC 4585-63-1,  $V_{\max} = 9.^m36$ )는 질량이 각각  $1.8 M_{\odot}$ 인 주성과  $0.85 M_{\odot}$ 인 반성이 상호 중력 하에서 0.545일을 주기로 원운동으로 공전하는 근접쌍성(Near contact binary)이다.

이 별의 광전관측은 Geyer(1961), Cochran(Wood 1971), Van der Wal et al.(1972), Kaluzny & Semeniuk(1984), Erdem et al.(1993), Chochol et al.(1998), 그리고 Erdem et al.(2005) 등 비교적 많은 학자들에 의하여 수행되었으나, 분광관측을 수행하였다는 보고는 아직 없다.

Geyer(1961)는 EG Cep의  $V$  광도곡선으로부터 이 별을 주심과 부식의 깊이가 각각  $1.^m0$ 과  $0.^m3$ 인  $\beta$  Lyr형 쌍성으로 분류하였다. GCVS(General Catalogue of Variable Stars, Kholopov et al. 1985-1988)에 EG Cep는 분광형이 A3인 EB<sup>1</sup>형으로 분류되어 있다. Hipparcos/Tycho(ESA 1997) 정보에 의하면, 이 쌍성계의  $B - V$ 는  $0.^m220 \pm 0.^m032$ 이다. 한편, Kaluzny & Semeniuk(1984)는 성간 적색  $E(B - V)$ 를  $0.^m035$ 으로 구하였고, 원 색지수 ( $B - V$ )을  $0.^m197$ 으로, 그리고 거리를 120pc으로 산출하였으나, 분광형을 GCVS와 다소 다른 A7으로 결정하였다. Wood(1971)는 Cochran의 황색 광전관측 자료를 WINK 방법으로 분석하였다. 반면, Kaluzny & Semeniuk는 Wilson & Devinney(1971, 이하 WD로 약함) 방법으로 그들의  $BV$  광도곡선을 분석하여, EG Cep가 질량비가  $q = 0.45 \sim 0.50$  사이에 있는 준분리형일 것으로 추산하였다. Chochol et al.(1998)은 Kaluzny & Semeniuk와 비슷한 작업을 수행하였는데, 즉, 그들이 관측한  $BV$  광도곡선을 WD 방법으로 분석하여, Kaluzny & Semeniuk와 똑 같이 준분리형 결과를 얻었고, 반성 표면에 차가운 흑점이 존재할 수 있음을 제시하였다. 한편, Shaw(1990, 1994)는 EG Cep를 근접쌍성으로 분류하였다. 가장 최근에 Erdem et al.(2005)은 그들이 관측한 새로운 광도곡선을 WD 방법과 ILOT(Information limit optimization technique, Banks & Budding 1991, Budding 1993) 방법을 이용하여 분석하였다. 재미있게도, WD 방법에 의하여 얻은 광도곡선 해에 의하면, 반성은 로쉬 로브(Roche lobe)를 딱 채웠으나, 주성은 로쉬 로브를 약 95%만 채운 준분리형인 반면, ILOT에 의한 해는 주성과 반성이 그들의 로쉬 로브에 매우 근접하였으나, 아직 채우지 않은 분리형 쌍성계를 보여준다.

EG Cep의 주기 변화는 Ahnert(1975), Hopp et al.(1983), Kaluzny & Semeniuk(1984), Wolf & Diethelm(1992), Erdem et al.(1993), Chochol et al.(1998), 그리고 Erdem et al.(2005)에 의하여 수행되었다. Kaluzny & Semeniuk는 EG Cep의 주기가 위로 벌려진 포물선 모양의 영년 변화를 겪는다고 보고하였다. 이는 질량이 작은 별에서 큰 별로의 질량이동 때문에 발생한다고 주장하였다. Kaluzny & Semeniuk 이후의 여러 학자들에 의하여 그 영년항은 계속 개정되었다. 그러나 Chochol et al.은 극심시각들의 ( $O - C$ ) 변화가 연속적이라기 보다는 1972년 경에 갑작스럽게 일어났을 수도 있다고 제안하였다. 반면, Erdem et al.(2005)은 현재 영년 변화로 보이는 것은 약 74.8년의 주기적인 변화의 일부분일 가능성도 배제할 수 없다고 지적하면서, 이 변화가 제3천체에 의한 광시간 효과에 의한 것이라면 제3천체의 질량은  $0.2 M_{\odot} \sim 0.4 M_{\odot}$ 의 범위에 있을 것으로 추산하였다.

우리는 근접쌍성의 극심시각의 ( $O - C$ )도와 광도곡선 분석을 통하여 보이지 않는 제3천체 또는 제4천체를 검출하는 일련의 연구를 수행하여 왔다(Kim 1995, Kim et al. 1997, 2003, 2005, Lee et al. 2004, 김천취 등 2002, 2005, 이동주 등 2004). 이러한 연구의 일환으로 EG Cep를 우리의 연구 프

<sup>1</sup>GCVS에 의한 식쌍성의 분류에 의하면, EB는 "Beta Lyrae-type eclipsing systems"을 의미한다.

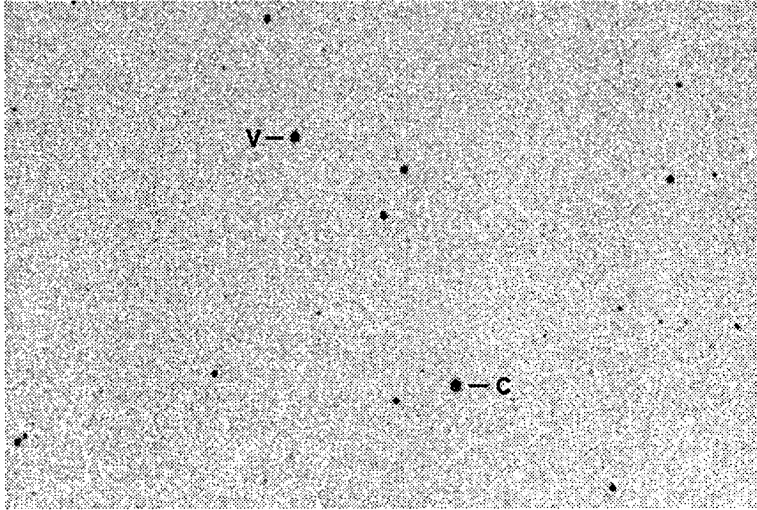


그림 1. EG Cep(V)와 비교성(C)의 CCD 화면. 약 19' × 12'의 시야를 보여 준다.

로그래프 별에 포함시켜 극심시각을 관측하였고, EG Cep계에서 제3천체의 존재가 가능성을 이 별의 공전주기 연구를 통하여 보고하고자 한다.

## 2. 극심시각의 관측

EG Cep의 극심시각 관측은 충북대학교 교내 관측소에 설치된 구경 35cm 반사망원경으로 2003년 3월 18일부터 2005년 11월 9일까지 총 8일간 수행되었다. 근접쌍성의 극심시각을 체계적으로 관측하기 위하여 제작된 이 소형 반자동 관측시스템(이하 “Timing” 망원경으로 명명)은 Paramount GT-1100s 독일식 마운트와 Celestron 14 광학계, 그리고 SBIG ST-8 CCD 카메라로 구성되었고, 2002년 11월부터 본격적으로 가동되었다. Timing 망원경의 자세한 사양, 관측 방법, IRAF의 apphot package를 사용한 관측자료의 일괄 처리 방식은 이충욱 등(2003)에 자세히 기술되어 있다. 최근에 Kim et al.(2006)은 2002년 11월부터 2005년 11월까지 3년간 Timing 망원경으로 관측된 극심시각을 발표하였다.

우리는 EG Cep의 밝기와 분광형이 비슷한 BD+76°789(HD 193834,  $V=9.65$ ,  $Sp=A0$ )을 비교성으로 선택하였는데, Kaluzny & Semeniuk(1984)와 Erdem et al.(2005)은 이 별을 점검성(check star)으로 사용한 바 있다. 이 별이 변광한다는 보고는 아직 없었고, 우리의 관측을 통해서도 이를 확인하였다. 우리의 주 관심사는 극심시각 결정이기 때문에, 광해(light pollution)가 심한 청주 하늘에서 될 수 있는 한 많은 양의 빛을 획득하기 위해서 필터를 사용하지 않고 관측하였다. 그림 1은 EG Cep와 비교성이 함께 나온 CCD 영상으로, 우리는 관측할 때 항상 이 화면 모양이 유지되도록 하였다.

우리의 관측을 통하여 극심 부근의 총 8개의 광도곡선(주식 5개, 부식 3개)을 얻었는데, 그림 2는 관측한 주식(primary eclipse)과 부식(secondary eclipse)의 광도곡선을 나타낸다. 그림에서 주식과 부식 부근의 광도곡선이 잘 정의되어 있음을 볼 수 있다. 또한, 주식과 부식 모두에서 개기식이 보인다.

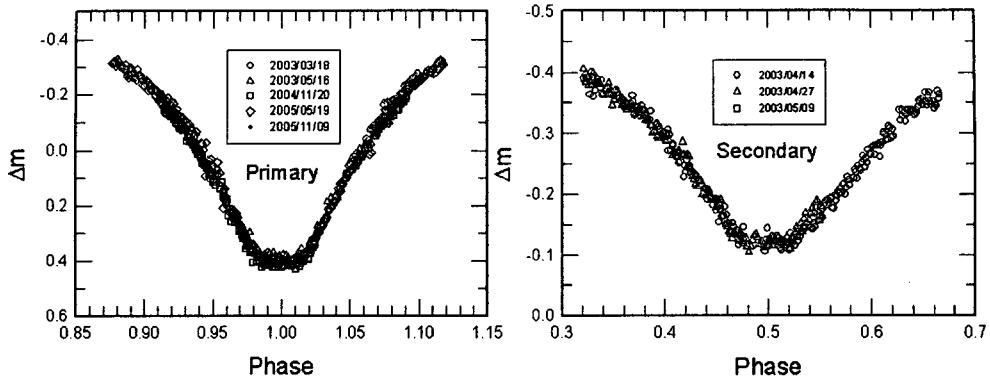


그림 2. EG Cep의 주식과 부식의 광도곡선.

다. 개기식의 지속시간은 주식에서 약 22<sup>m</sup>, 부식에서 주식보다 약 13<sup>m</sup>이 더 긴 35<sup>m</sup>으로 측정되었다. 주식의 개기식 지속시간이 부식보다 짧게 측정되는 이유는, 여러 학자(Kaluzny & Semeniuk 1984, Chochol et al. 1998, Erdem et al. 2005)들의 광도곡선 분석에 의하여 이미 제시된 바 같이, 주식은 금환식(annular eclipse)이고 부식은 완전식(total eclipse)이기 때문으로 추정된다. 즉, 주식에서 반경이 작고 온도도 낮은 반성이 반경이 크고 온도가 높은 뜨거운 주성 앞을 지나가는(transit) 금환식이기 때문에 개기식의 지속시간을 정하기 어려운 반면, 주성이 반성을 완전히 가리는 완전식인 부식에서 개기식이 지속될 때, 광도곡선은 평탄하기때문에 그 지속시간을 정하기가 상대적으로 쉽기 때문이다. 주식과 부식에서 개기식의 지속시간이 차이나는 또 다른 이유로서 타원궤도 효과를 생각해 볼 수도 있으나, 그림 2에서 보듯이 부식의 식심이 0.5 위상에서 편이되어 나타나지 않은 점과 또, 다음 절에서 논의할 주기연구에서 제시된 (O-C)도(그림 3 참조)에서 보듯이 EG Cep의 제1극심시각과 제2극심시각 사이에 어떤 위상 차도 보이지 않지 않지 때문에 성분별들은 그들의 질량중심 주위로 원운동을 하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 타원 궤도 효과를 EG Cep의 개기식 지속시간이 차이나는 이유로서 적용할 수 없다.

또한, 광도곡선의 또 다른 특성으로서 우리는 주식에서 보다 부식에서 심한 비대칭이 있음을 지적하고 싶다. 즉, 0.5 위상을 축으로 상승 가지(ascending branch)는 하강 가지(descending branch)보다 상당히 완만하다. 부식의 비대칭 광도곡선은 Chochol et al.(1998)도 그들의 광도곡선에서 이미 지적하였는데, 그들은 그러한 광도곡선의 가능한 원인으로 라그랑지 L<sub>1</sub>점 주위에 있는 물질들이 반성에서 나오는 빛을 가리기 때문으로 설명하였다. 반면, Chochol et al.과 우리의 광도곡선과는 달리 Erdem et al.(2005)은 그들의 새로운 BV 광도곡선의 분석을 통하여 주식의 광도곡선이 부식보다 더 비대칭이라 하였다. 그 이유를 반성에서 주성으로 이동된 가스 물질들이 주성 표면으로 떨어지면서 주성 표면에 주위보다 밝은 영역을 만들기 때문으로 설명하였다. 그들은 Kaluzny & Semeniuk(1984)의 광도곡선에서도 주식이 부식보다 더 비대칭인 것이 보인다고 하였다. Kaluzny & Semeniuk(1984), Erdem et al.(2005), Chochol et al.(1998), 그리고 우리의 광도곡선은 각각 1983년, 1991-1992년, 1997년, 그리고 2003-2005년에 관측된 것이다. 따라서, 위의 논의에서 살펴본 바와 같이 광도곡선의 비대칭 정도가 시간에 따라 변화하고 있음이 확실하다. 그러나, 그 자세한 변화 양상을 알기 위해서는 좀 더 많

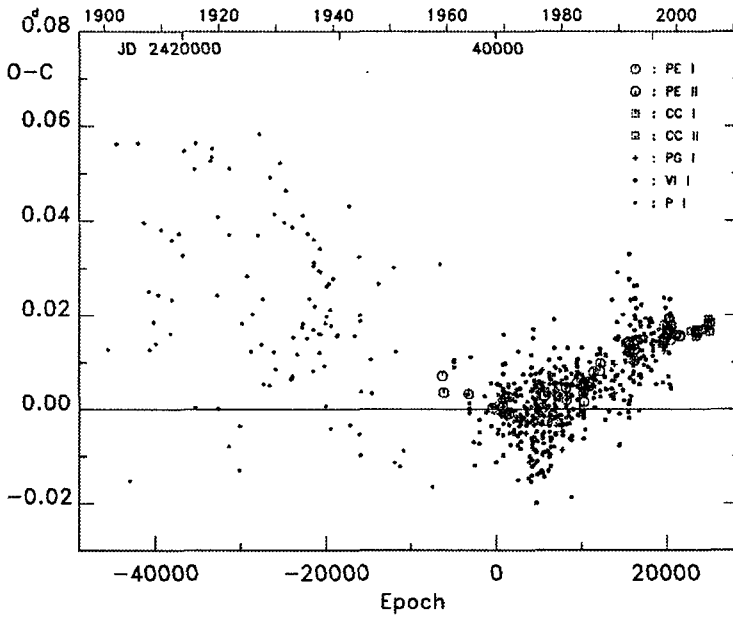


그림 3. EG Cep의 ( $O - C_1$ )도.

표 1. 이 연구에서 관측된 EG Cep의 CCD 극심시각.

HJD	$\sigma$	type
2452717.2809	0.0001	pri
2452744.2396	0.0002	sec
2452757.3094	0.0003	sec
2452769.2918	0.0002	sec
2452776.1003	0.0004	pri
2453329.98078	0.00009	pri
2453510.25101	0.00009	pri
2453683.98597	0.00008	pri

은 조직적인 관측이 필요하다. 특히, 비대칭이 생기는 이유가 부성에서 주성으로의 가스 물질에 의한 것인지를 확인하기 위해서 고정밀 분광 관측이 필수적이다.

그림 2로 보인 광도곡선으로부터 총 8개의 극심시각(제1극심 5개, 제2극심 3개)을 Kwee & van Woerden 방법(Kwee & van Woerden 1956)을 사용하여 표 1에 수록한 바와 같이 결정하였다. 표 1에서  $\sigma$ 는 극심시각의 내부오차로 관측된 극심시각들이 매우 정밀함을 보여준다.

## 2. 공전주기 연구

EG Cep의 공전 주기 변화 양상을 파악하기 위하여, Kreiner, Kim & Nha(2001, 이하 KKN으로 약함)의 database에 저장된 EG Cep의 극심시각을 이용하였다. 우리는 여러 문헌을 통하여 발표되는 근접쌍성의 극심시각들을 수집하여, KKN의 database에 저장함으로써, 그 database가 항상 최신 극

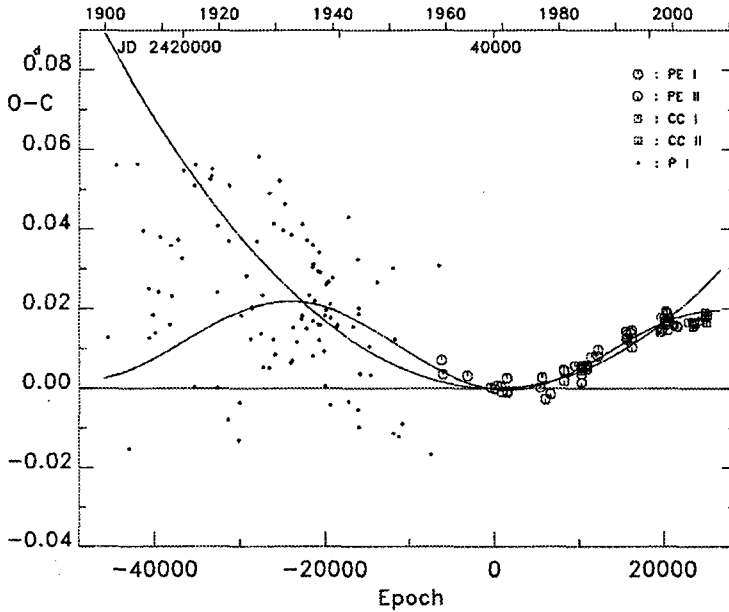


그림 4. EG Cep의 새로운 ( $O - C_1$ )도. 포물선과 사인 곡선은 Erdem et al.(2005)이 제시한 변수들을 이용하여 그린 것이다.

심시각 자료까지 포함하도록 유지, 관리하고 있다. 수집된 EG Cep의 극심시각은 총 676개(안시 관측치: 466개, 사진 관측: 17개, 사진 plate 관측치: 102개, 광전 및 CCD 관측치: 91개)로 이 중 제1극심시각은 656개 이다. 먼저, 우리는 Erdem et al.(2005)이 제시한 광도요소

$$C_1 = \text{HJD}2440050.4551 + 0.^d5446216E \quad (1)$$

를 사용하여 그림 3과 같이 EG Cep의 ( $O - C_1$ )도를 작성하였다. 그림에서 보듯이, EG Cep의 공전주기는 최초의 극심시각이 관측된 1900년부터 현재에 이르기 까지 100여년을 지나면서 크게 변하여 왔다. 그 변화 양상을 개괄적으로 살펴보면, 1900년에서 1970년까지는 사진 plate 관측치에 의한 ( $O - C_1$ ) 잔차(residual)의 분산 폭(scatter band)이 매우 커서, 그 변화 양상을 자세히 파악할 수 없으나, 그 기간동안 ( $O - C_1$ ) 잔차 값이 감소하는 것이 전반적인 경향인 것을 부인할 수는 없다. 반면, 1970년 이후 관측된 값들은 뚜렷이 증가하고 있다. 1970년 이후 관측 방법에 따른 ( $O - C_1$ ) 잔차의 분산 폭을 살펴보면, 광전이나 CCD 관측치들은 사진 및 육안 관측치들에 비하여 그 폭이 상당히 작고, 최근까지 일정하게 분포되어 있다. 따라서, 우리는 광전 관측에 의한 최초의 극심시각(HJD2436613.3553) 이전과 이후로 나누어, 그 이전인 경우, 관측된 모든 극심시각(사진 plate 관측치)을, 그 이후인 경우, 광전 및 CCD 관측치만을 우리의 분석에서 사용하기로 하였다. 그리고, 관측 방법에 따른 분산 폭의 표준편차(사진 plate 관측치:  $\pm 0.^d019$ , 광전 및 CCD 관측:  $\pm 0.^d0013$ )에 의거하여 사진 plate 관측은 1, 광전과 CCD 관측은 15의 가중치를 할당하였다.

위에서 언급한 육안 및 사진 관측치를 제외하고, (1)식의 광도요소를 이용하여 EG Cep의 새로운 ( $O - C_1$ )도를 그림 4와 같이 다시 작성하였다. 그림에서 우리는 1960년 이후의 ( $O - C_1$ ) 잔차의 변

표 2. EG Cep의 광시간 궤도 및 포물선 해.

궤도요소	EG Cep	단위
$T_0$	2440050.4581 (14)	JD Hel
$P$	0.54462169 (8)	day
$A$	$2.40(39) \times 10^{-11}$	day
$K$	0.0034	day
$e$	0.290(83)	
$\omega$	116 (30)	deg
$T$	2450219 (137)	JD Hel
$P_3$	38.4 (1.3)	year
$\sigma$	0.0013	day

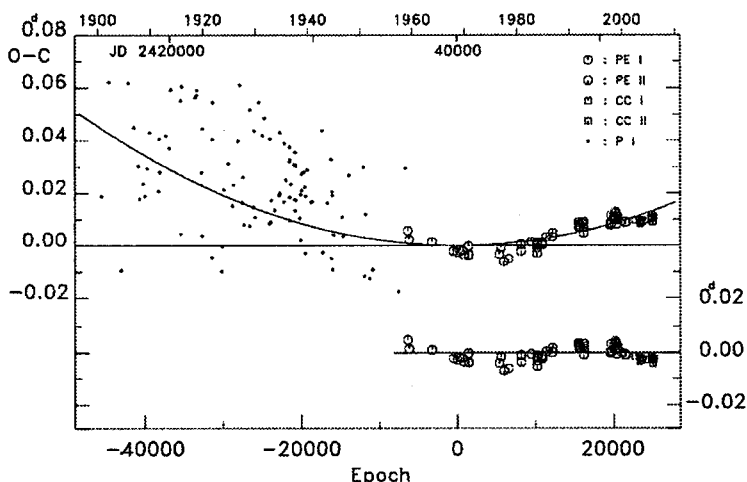


그림 5. EG Cep의  $(O - C_2)$ 도. 그림에서 포물선은 (2)식의 이차항을 나타내며, 아랫 그림은 광전 및 CCD 관측치에서 이론치를 빼 준 잔차를 나타낸다. 주목할 것은 잔차들이 주기적으로 진동하고 있다는 것이다.

화 양상이 그림 3에 비하여 더 명확히 드러나고 있음을 볼 수 있다. 그림 안의 포물선과 사인 곡선은 Erdem et al.(2005)이 제시한 광도요소(그들의 논문의 (2)식과 (4)식 및 표 1)들을 (1)식의 광도요소와 맞게 변환하여 그린 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, Erdem et al.(2005)의 포물선은 2000년 이후의 최근 관측치를 맞추지 못하고 있으며, 사인 곡선도 1900년에서 1930년까지의 관측치와 2000년 이후의 최근 관측치를 대체로 맞추지 못하고 있다.

그림 4의  $(O - C_1)$ 도를 자세히 살펴보면,  $(O - C_1)$  잔차의 변화가 포물선이나 사인 곡선과 같이 단순히 1개의 곡선으로 완전히 표현되기는 어렵다는 것을 알 수 있다. 오히려 그 두 곡선의 합과 같은 더 복잡한 함수로 기술되어야 한다는 것을 알게 된다. 이를 조사하기 위하여, 이차항을 포함한 광도요소에 모든 극심시각을 최소자승법으로 맞추는 작업을 시도하였다. 그 결과 산출된 광도요소는

$$C_2 = \text{HJD}2440050.4576(2) + 0.^d54462179(3)E + 2.15(10) \times 10^{-11} E^2 \quad (2)$$

이다. (2)식의 광도요소 중 선형 부분으로 작성한  $(O - C_2)$ 도가 그림 5의 상단에 그려져 있다. 여기

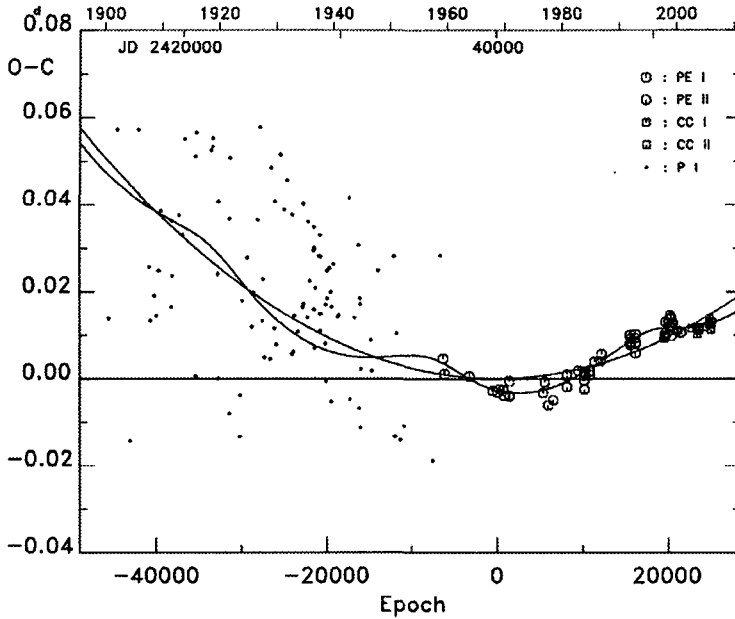


그림 6. EG Cep의 ( $O - C_3$ )도. 그림에서 포물선은 표 2에 제시한 이차항을, 물결치는 곡선은 이차항과 광시간 궤도의 합을 각각 나타낸다.

서 실선은 (2)식의 이차항을 그린 것이다. 그림 5의 하단에는 광전 및 CCD로 관측된 극심시각에서 (2)식 전체를 빼 준 잔차가 그려져 있다. 상단 그림에서 보듯이 이차항만을 고려하였을 때, 정밀한 광전 및 CCD ( $O - C_2$ ) 잔차는 포물선의 위 아래에서 진동하고 있다. 그 양상은 하단에서 더 명확하게 보인다. 즉, 약  $\pm 0.003$ 의 진폭을 가진 약 35년의 주기적인 진동이 포물선 변화 위에 겹쳐 있다. 따라서, 우리는 이차항과 주기적인 항을 합한 광도요소에 관측된 극심시각을 맞추는 작업을 시도하였다. 여기서, 주기적인 항으로서 우리는 제3천체에 의한 광시간(light time) 함수를 선택하였다. 그 이유는 광시간 함수는 주기적인 변화를 나타내는 매우 유연한 함수이기 때문이다. 우리가 채택한 광도 요소는

$$C_3 = T_0 + PE + AE^2 + \tau \tag{3}$$

으로 표현할 수 있다. 여기서  $\tau$ 는 광시간으로,

$$\tau = \frac{K}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega}} \left[ \frac{1 - e^2}{1 + e \cos \nu} \sin(\nu + \omega) + e \sin \omega \right], \quad K = \frac{a_{12} \sin i' \sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega}}{2.59 \times 10^{10}}, \tag{4}$$

으로 표시된다. 여기서,  $e, \omega, \nu, a_{12}$ , 그리고  $i'$ 은 각각 광시간 궤도의 이심률, 근성점 이각, 진근점 이각, 장반경, 궤도경사각을 나타낸다. (3)식은 모두 8개의 미지수(unknown)를 갖고 있다( $\tau$ 의 더 자세한 기술은 Irwin(1952, 1959)의 논문을 참조). 그 미지수란  $T_0, P, A, a_{12} \sin i', \omega, e, P',$  그리고  $T$ 인데, 여기서  $P'$ 은 광시간 궤도의 주기이며,  $T$ 는 식쌍성의 질량중심이 광시간 궤도의 근성점을 통과하는 시각이다. 관측된 극심시각을 (3)식에 맞추어 8개의 미지수를 결정할 때 Levenberg-Marquart 방법(Press et al. 1992, 이하 LM으로 약함)을 사용하였는데, LM은 비선형 함수를 최소자승 방식으로



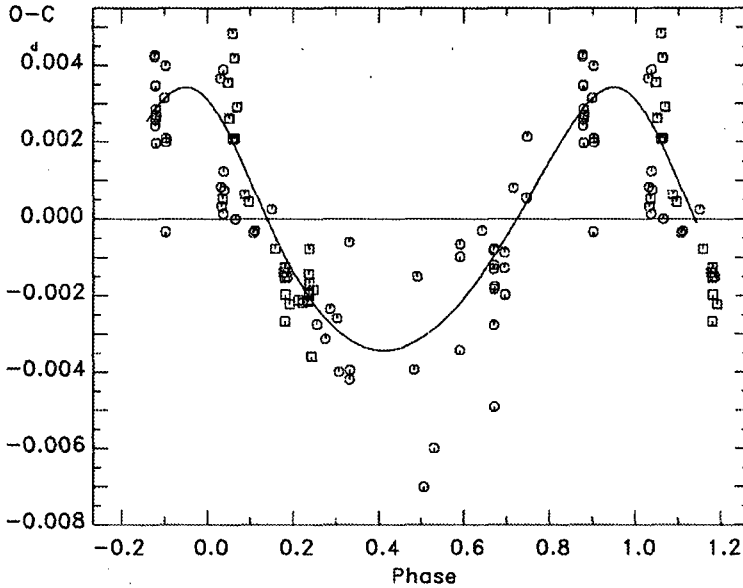


그림 7. EG Cep의 광시간 궤도. 그림의 가로축은 이 논문에서 정한 38.4년 주기로 위상화 하였다. 실선은 표 2에 수록된 해로 그린 광시간 궤도를 나타낸다.

반복적으로 맞추는 방법이다. 계산은 매우 빨리 수립되었는데, 그 결과는 표 2에 수록한 바와 같다. 이 표의 마지막 줄에 있는  $\sigma (=0.0013 \text{ 일} \sim \text{약 } 2 \text{ 분})$ 는 광전 및 CCD 관측치에서 (3)식으로 표현된 이론치를 뺀 잔차에 대한 표준편차로서, 이 값은 대부분의 근접쌍성의 ( $O - C$ )도(KKN 참조)에서 보이는 광전 및 CCD 관측치에 대한 분산 폭에 해당한다. 총 91개의 관측치 중에서 약 75%에 해당하는 68개가  $1\sigma$  이내에 있고,  $1\sigma$ 와  $2\sigma$  사이에 22개, 그리고 1개가  $2\sigma$ 와  $3\sigma$  사이에 있어, 통계적으로 새로운 광도요소는 관측된 광전 및 CCD 극심시각을 잘 맞추고 있다. 이는 표 2에 제시한 선형 광도요소를 이용하여 작성한 그림 6의 EG Cep의 새로운 ( $O - C_3$ )도에서 잘 나타나고 있다. 이 그림에서 포물선은 표 2의 이차항을, 물결치는 곡선은 이차항과 광시간 궤도의 합을 각각 나타낸다. 따라서, 우리는 EG Cep의 공전주기는 위로 향한 포물선 모양의 영년 변화 위에 주기적인 항이 겹쳐 변화한다고 결론지을 수 있다.

새로 산출된 이차항의 계수로 부터 EG Cep의 공전주기는 연간 약  $+3.4^{d}22 \times 10^{-8}$ 으로 연속적으로 증가하고 있다. 보존적인 질량이동 이론(Pringle 1975)에 의하면, 이와 같은 공전 주기의 영년 변화는 질량이 작은 반성( $m_s$ )으로부터 매년 약  $\dot{m}_s = 3.18 \times 10^{-8} M_{\odot}$ 의 가스가 주성( $m_p$ )으로 이동할 때 일어난다. 이 계산에서 우리는 잘 알려진 식

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{3\dot{m}_s(m_s - m_p)}{m_p m_s} \quad (5)$$

을 이용하였다. 이와 같이 반성에서 주성으로의 질량이동은 Kaluzny & Semeniuk(1984), Chochol et al.(1998), 그리고 Erdem et al.(2005)이 광도곡선 분석으로부터 구한 반성이 로쉬 한계면을 채운 준분리형(semi-detached type)의 로쉬 기하와 상치되지 않는다.

한편, 표 2에서 보듯이 광시간 궤도의 반진폭, 궤도주기, 이심율은 각각  $0.4^{d}0034$ ,  $38.4$ ,  $0.29$ 이

다. 그림 7은 EG Cep의 관측된 극심시각에서 이차항을 빼준 잔차를 광시간 궤도 주기로 위상화한 ( $O-C$ )도이다. 여기서 실선은 이론적인 광시간 궤도를 나타낸다. 이 그림에서 보듯이 광전 및 CCD 극심시각의 분산폭이 상대적으로 크지만 ( $O-C$ ) 잔차는 전체적으로 광시간 궤도를 잘 따르고 있음을 알 수 있다.

표 1과 2에 주어진 질량과 광시간 궤도로부터 제3천체의 질량함수는  $f(m) = 0.000145M_{\odot}$ 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  $0.21M_{\odot}$ 이다. 따라서,  $i_3 \geq 30^{\circ}$ 일 때의 제3천체의 질량 범위는  $0.10M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.21M_{\odot}$ 이다. 질량함수와 제3천체의 질량을 구하는 일련의 과정은 Kim(1995)의 논문에 자세히 설명되어 있다.

### 3. 요약과 논의

이 논문에서 우리는 근접쌍성 EG Cep의 극심부근의 CCD 관측을 통하여 내부오차가  $\pm 0.0004$ 보다 작은 총 8개의 정밀한 극심시각을 제시하였다. 우리의 관측치를 포함하여 총 676개의 수집된 극심시각 분석을 통하여, 이 별의 공전주기 변화 양상을 살펴 보았다. 그 결과 이 별의 ( $O-C$ ) 잔차가 포물선 모양의 영년 변화 위에 주기적인 항이 겹쳐 변화한다는 것을 알게 되었고, 그 가능한 원인들을 살펴보았다.

첫째, EG Cep은 관측적으로 약  $+3.22 \times 10^{-8} \text{d/y}$ 의 영년 주기감소를 보인다. 보존적인 질량 이동을 가정하면, 이는 질량이 작은 반성으로 부터 매년 약  $\dot{m}_s = 3.18 \times 10^{-8} M_{\odot}$ 의 가스가 주성으로 이동하고 있다. 이와 같은 질량이동은 반성이 로쉬 한계면을 채우고 있을 때 가능한데, Erdem et al.(2005)의 광도곡선 해에 의하면, EG Cep의 반성은 로쉬 한계면을 채우고 있어, 주기 변화 분석과 광도곡선 해의 결과가 서로 일치하고 있다.

둘째, EG Cep의 주기적인 변화의 원인을 제3천체에 의한 광시간 효과로 가정하고 구한 광시간 궤도의 주기, 반진폭과 이심율은 각각  $0.0034$ ,  $38.74$ ,  $0.29$ 이다. EG Cep계에 제안한 제3천체의 질량 범위는  $i_3 \geq 30^{\circ}$ 일 때  $0.10M_{\odot} \leq M_3 \leq 0.21M_{\odot}$ 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  $0.20M_{\odot}$  사이에 있어, H-R 도에서 모두 주계열의 끝에 위치한다. EG Cep 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 포함하여 10여개 만이 보고되어 있다(Demircan 2000). 최근에 V651 Cas와 CX Aqr계에서의  $0.20M_{\odot}$ 보다 작은 질량의 제3천체의 존재 가능성이 김천휘 등(2002, 2005)에 의하여 제안되어 이러한 삼중성계의 빈도수가 점차 높아지고 있다.

마지막으로, EG Cep의 광도곡선에 존재하는 비대칭의 정도가 시간에 따라 변화하고 있다. 그 자세한 변화 양상을 알기 위해서 좀 더 많은 조직적인 측분광 관측이 필요하다. 특히, 비대칭이 생기는 이유가 이 별을 연구한 여러 학자들이 제안한 부성에서 주성으로의 가스 물질에 의한 것인지를 확인하기 위해서 고정밀 분광 관측은 필수적이다.

EG Cep는 다른 식쌍성에 비해 그 성질이 많이 알려지지 않은 별이다. 특히, EG Cep의 분광관측이 전혀 없는 관계로 분광학적 성질이 아직 파악되지 않고 있다. 이 별의 천문학적 기본 인자(질량, 반경, 온도, 밝기 등)들은 앞으로 새로운 분광 관측에 의해 개정되어야 할 것이다. 이와 더불어 이 연구에서 제안된 제3천체의 성질을 더 자세히 밝히기 위해서 약  $\pm 0.0004$ 보다 작은 내부 오차를 가진 정밀 극심시각 관측이 지속되어야 할 것이다.

**감사의 글:** 이 논문을 세심히 읽고 여러 사항들을 제안하고 지적하여 준 심사자들에게 감사합니다. 또한, EG Cep의 극심시각 관측에 참여한 충북대학교 천문우주학과 학생 모두에게 감사한 마음을 전합니다. 이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

### 참고문헌

- 김천휘, 이재우, 이충욱, 이동주, 강영운 2002, 한국우주과학회지, 19, 47  
 김천휘, 정장해, 이용삼 2005, 한국우주과학회, 22, 113  
 이동주, 이충욱, 이재우, 김승리, 오규동, 김천휘 2004, 한국우주과학회, 21, 283  
 이충욱, 박성수, 김천휘, 변용익 2003, 한국우주과학회, 20, 143  
 Ahnert, P. 1975, MVS, 7, 65  
 Banks, T. & Budding, E. 1991, Observatory, 111, 38  
 Budding, E. 1993, An Introduction to Astronomical Photometry (Cambridge: Cambridge Univ. Press)  
 Chochol, D., Pribulla, T., Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P., & Kranidiotis, A. 1998, CoSka, 28, 51  
 Demircan, O. 2000, Variable Stars as Essential Astrophysical Tools, ed. C. Ibanoglu (Dordrecht: Kluwer), p.615  
 Erdem, A., Budding, E., Demircan, O., Değirmenci, Ö. L., Gülmen, O., & Sezer, C. 2005, AN, 326, 332  
 Erdem, A., Kiliç, B., Değirmenci, Ö. L., Gülmen, Ö., Sezer, C., & Güdür, N. 1993, IBVS, 3915  
 ESA 1997, The Hipparcos & Tycho Catalogues, ESA SP-1200  
 Geyer, E. 1961, ZA, 51, 79  
 Guinan, E. F. & Ribas, I. 2000, ApJ, 546, L43  
 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  
 Hopp, V., Geyer, E. H., & Leyers, F. T. 1983, IBVS, 2327  
 Irwin, J. B. 1952, ApJ, 116, 11  
 Irwin, J. B. 1959, AJ, 64, 149  
 Kaluzny, J. & Semeniuk, I. 1984, AcA, 34, 433  
 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.

- 1985-1988, General Catalogue of Variable Stars, 4th Edition (Moscow: Nauka Publishing House)
- Kim, C.-H. 1995, *JA&SS*, 12, 179
- Kim, C.-H., Jeong, J. H., Demircan, O., Müyesserğlu, Z., & Budding, E. 1997, *AJ*, 114, 2753
- Kim, C.-H., Lee, C.-U., Yoon, Y.-N., Park, S.-S., Kim, D.-H., Cha, S.-M., & Won, J.-H. 2006, *IBVS*, 5694
- 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
- 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
- Kwee, K. K. & van Woerden, H. 1956, *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 12, 327
- Lee, J. W., Kim, C.-H., Han, W., Kim, H.-I., & Koch, R. H. 2004, *MNRAS*, 352, 1041
- Press, W., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., & Vetterling, W. T. 1992, *Numerical Recipes* (Cambridge: Cambridge Univ. Press), Chapter 14
- Pringle, J. E. 1975, *MNRAS*, 170, 633
- Shaw, J. S. 1990, in *Active Close Binaries*, ed. C. Ibanoglu (Dordrecht: Kluwer), p.241
- Shaw, J. S. 1994, *Mem. Soc. Astron. Italiana*, 65, 95
- Strohmeier, W. 1958, *Kl. Veröff. Bamberg*, 21, 22
- Van der Wal, P. B., Nagel, C., Voordes, H. R., & de Boer, K. S. 1972, *A&AS*, 6, 131
- Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605
- Wolf, M. & Diethelm, R. 1992, *AcA*, 42, 363
- Wood, D. B. 1971, *AJ*, 76, 701