

식쌍성의 (O-C) 도록집의 출간 보고

김천휘¹, 나일성²

¹충북대학교 천문우주학과

²에천 나일성 천문관

1991년 8월부터 시작하여 약 10년간에 걸쳐 식쌍성의 극심시각을 여러 문헌으로부터 수집하여 database화 하였으며, 그 중 1,140개 별에 대한 (O-C) 도록집을 폴란드의 J. M. Kreiner와 함께 "An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars Part 1-6 (Pedagogical Univ. Press: Krakow)"란 제목으로 출간(전6권)하였기에 이를 식쌍성의 일반적인 해설기사와 함께 보고한다.

식쌍성 천문학의 태동: 1783년 이태리의 존 구드리케(John Goodricke, 1764-1786)는 페루세우스 별자리에서 두 번째로 밝은 별인 베타 별(Algol)이 약 2일 20시간 45분마다 밝기가 변하며, 그것이 두 별이 상호식을 일으켜 생길 수 있다는 발견과 제안을 영국 왕립 천문학회에 편지 형식으로 제출하였다. 그 편지야말로 식쌍성 천문학의 탄생을 알리는 큰 종의 울림이었다. 그가 태어날 때부터 병어리이면서 귀머거리인 장애를 갖고 있었고, 나이가 당시 18세로 어렸던 것을 감안하면, 그의 발견과 제안은 정말 획기적인 것임에 틀림이 없다. 3년 후에 세상 떠날 때까지 그는 계속 천체관측을 하여 또 다른 식쌍성과 변광성을 추가로 발견하였다. 그가 식쌍성 천문학의 창시자라는 데에는 아무도 이의를 달지 않을 것이지만, 그보다 더한 칭호를 붙여 그를 기리고 싶은 마음을 이 분야를 전공하는 모든 연구자들이 공통적으로 갖고 있을 것이다. Goodricke 이후 현재까지 10,000여개 이상의 식쌍성이 발견되었다.

쌍성계는 별들의 동물원: 쌍성을 천문학자들이 주요한 연구대상으로 삼는 이유는 별이 태어나서 소멸될 때까지의 과정, 즉 진화의 문제를 해결하는데 가장 중요한 관측적 기본 자료(질량, 반경, 밝기 등)들을 쌍성 연구로부터 가장 정확하게 결정할 수 있을 뿐만 아니라, 별들의 궤도요소, 물리요소, 별들의 표면활동, 성분별 사이의 물질교환, 또는 방출, 자기장의 구조, 내부구조 등과 같은 다양한 물리현상을 이해할 수 있기 때문이다. 또한, 여러 이론적인 항성 모형들과 천체물리학적 이론들을 쌍성관측으로부터 검증할 수 있기 때문이다.

한편, 별의 진화과정의 마지막 단계에 있는 초거성, 신성, 격변 변광성 등 다양한 진화 상태에 있는 별들이 쌍성으로 발견되어 천문학적으로 중요한 자료들을 제공하고 있다. 이와 더불어 별의 소멸 과정에 있는 아주 고밀도의 백색왜성, 고에너지를 방출하는 X선 쌍성(중성자 별), 그리고 중력이 대단히 커서 빛조차 흡수해 버리는 검은 구멍 등이 쌍성에서 발견되어, 소멸과정에 있는 별들의 구조 및 물리적 상태를 쌍성 연구를 통하여 좀 더 잘 이해할 수 있다. 한마디로 쌍성계는 별이 탄생되어 소멸할 때까지의 과정에 있을 수 있는 원시성으로부터 검은 구멍에 이르기까지의 온갖 별을 다 포함한다. 가히 별의 동물원이라 할 수 있다. 이 동물원에서 일어나는 갖가지 현상들을 관측과 이론이란 무기로 발견하고 해석한다. 쌍성계는 천문학과 천체물리학의 실험장이다.

식쌍성의 공전주기와 (O-C)도: 식쌍성을 기술하는 여러 궤도요소 중에서 궤도 공전주기는 상대적으로 가장 정확히 얻을 수 있는 요소이다. 식쌍성에서 궤도 공전주기란 식쌍성의 밝기가 최소가 될 때의 시각(극심시각)을 연속적으로 두 번 관측한 시각의 차이이다. 극심시각 관측으로부터 결정한 궤도 공전주기의 정밀도는 현재의 측광기술로 약 10^{-9} 일(약 10^{-4} 초)까지 이른다. 말하자면, 10^{-8} 일 정도의 변화가 공전주기에 생긴다면, 그 변화는 관측된 극심시각(O)과 계산된 극심시각(C)의 차이를 시간에 대해 그린 식쌍성계의 (O-C)도에 나타나며, 이를 통하여 공전주기 변화를 손쉽게 검출할 수 있다.

이와 같이 식쌍성의 궤도 공전주기가 매우 정확하게 결정된다는 점은 역으로, 식쌍성계에서 일어난 여러 동역학적 또는 물리적 변화를 궤도 공전주기 변화의 검출을 통해서 파악할 수 있다는 것을 암시한다. 식쌍

성의 공전주기 변화를 (*O-C*)도를 통하여 본다는 것은 쌍성계의 동역학적 진화를 실시간으로 보는 것이다. 공전주기 변화 연구를 통하여 우리가 얻을 수 있는 천체물리학적 정보는 쌍성계 진화의 결과로 나타나는 질량 교환과 방출, 보이지 않은 제3 또는 제4 천체의 검출, 별의 내부 구조, 상대성 이론의 검증, 자기장의 강도와 변화 검출 등이다.

식쌍성의 (*O-C*) 도록집 편찬 경위: 식쌍성의 공전주기는 일반적으로 매우 느리게 변하기 때문에 그 변화를 보기 위해서는 수십년 이상의 극심시각 관측으로 작성한 (*O-C*)도가 필요하다. 따라서, 가능한 모든 식쌍성의 극심시각을 조직적으로 수집하여 (*O-C*)도를 작성하고 이들을 비교하는 일이 필요할 것이다. 그러나, 그 필요성은 인정하나 어느 누구도 선불리 이 일에 뛰어 들 수가 없었던 것은 세계 각국의 다양한 수집종의 논문지에 흩어져 발표되어온 과거로부터 현재까지의 방대한 극심시각 관측자료를 수집해야 하는 어려움과 거기에 투자해야 하는 시간과 노력이 엄청나기 때문이다. 물론 국부적으로 이러한 작업을 하는 몇몇 연구 그룹은 과거에도 있었고, 현재에도 진행되고 있으나 그 수집이 완전치가 않은 상태이다.

마침 1991년 8월 아르헨티나 부에노스아이레스에서 열린 제23차 IAU 총회와 콜도바에서 열린 IAU 151 심포지움에 세명의 저자(나일성, 김천휘, J. M. Kreiner)가 한자리에 모일 기회가 있었다. 이때 (*O-C*)도를 편찬하기로 합의하였고, 그 후 본격적으로 이 일을 착수하였다. 초기에는 식쌍성을 형태별(예를 들면, Algol형, β Lyrae형, W UMa형 등)으로 나누어 분담하여 수집하기도 하였고, 그후 지역 별로 나누어 수집하기도 하였으나, 여러 번의 논의 끝에 J. M. Kreiner는 database의 작성과 극심시각을 수집하고, 김천휘와 나일성은 각 별의 기본적인 정보를 수집하고 (*O-C*)도를 작성하는 것으로 일을 분담하였다. 이러한 우여곡절 끝에 1차 우리 일을 마무리하였으니 처음 시작으로부터 약 10년만에 책이 발간된 것이다.

(*O-C*) 도록집의 내용: 1999년 말까지 우리의 database에 수록된 별은 3,851개이며, 약 135,000개의 극심시각을 저장하고 있었다(현재 3896개에 136,261개). 그 중에서 (1) 최소 20개이상의 극심시각이 관측되었고, (2) 그 극심시각의 처음과 맨나중의 시각 간격이 40년 이상이며, (3) 그 시간간격이 공전횟수로 환산할 때 2,500번 이상이 되는 별을 선택하여 이 별들의 (*O-C*) 도록집을 만들기로 하였다. 물론, 이 기준에 위배되는 별들 중에서 타원 궤도이거나 근성점 이동을 보이는 별들과, 주기변화가 짧은 시간에도 명백히 일어나는 경우, 공전주기가 매우 길어 극심시각의 관측이 적은 별들은 추가하였다. 그 결과 1,140개의 식쌍성이 선정되었다. 이 개수는 database에 있는 전체 별의 약 30%에 해당되며, 이 별들의 총 극심시각은 91,798개로 전체 극심시각의 약 70%에 해당된다.

각 별에 한쪽은 그별의 일반적인 정보(그림 1 참조), 다른 한쪽(그림 2 참조)은 (*O-C*) 도를 할당하기로 결정하니 최소 2,280쪽의 책이 되어, 기술적인 이유로 총6권(각권 약 400쪽)으로 나누었고, 별자리의 알파벳 순서로 배열하였다(And-Cnc: 186개, CVn-Cir: 188, Com-Eri: 200, Gem-Lyr: 185, Men-Psa 187, Pup-Vul: 194). 각 별의 일반적인 정보에 들어가는 내용은 1) 일반적인 특성(적경, 적위, 밝기 등), 2) 카타로그 정보, 3) 극심시각의 통계, 4) 광도요소(이 요소들은 우리가 모두 새롭게 정했음), 5) 활동 형태(자세한 내용은 Kreiner et al. (2001)을 참고), 6) 짧은 논평, 7) 참고문헌 이다. 각 별의 (*O-C*) 도를 작성할 때, 독자들에게 유용하며, 중요할 것으로 생각되는 점들을 고려하였는데, 첫째는 가로와 세로축의 단위의 문제로서, 가로축의 하단축 단위는 공전횟수로, 상단축의 위는 년도, 아래는 줄리안 일로 하였고, 세로축의 왼쪽 축의 단위는 일(day)로, 오른쪽은 공전주기로 나눈 단위로 하였다. 둘째는 각 극심시각의 표시를 크기와 모양을 달리 함으로서 구별되게 하였다. 마지막으로 가로축의 마지막 시각을 2010년으로 맞추어 2000년부터 2010년의 빈 공간에 그래프를 그려 2000년 이후 관측된 극심시각을 표시할 수 있게 하였다. 그림 1과 2는 도록집에 수록된 β Per의 특성과 (*O-C*) 도이다.

(*O-C*) 도록집에 수록된 별의 특성: 도록집에 수록된 1,140개 별의 공전주기 별 개수 분포를 그림 3에 그렸다. 이 그림에서 보듯이 가장 짧은 주기는 0.0567일(1.36시간, WZ Sge)이고, 가장 긴 주기는 972일(2.66년, ζ Aur)이다. 대부분의 별들의 공전주기는 0.2과 10일 사이에 있다. 그림 4는 $\Delta(O-C)/P$ 대 ΔT 를 그

린 것으로, ΔT 는 각 별의 맨 나중 극심시각과 처음 극심시각의 차이이며, $\Delta(O-C)/P$ 는 $O-C$ 값의 최대와 최소 값의 차이를 공전주기 P 로 나눈 값이다. 이 그림에서 보듯이 대부분의 별은 ΔT 가 60년에서 100년 사이에 있고, ΔT 가 크면 $\Delta(O-C)/P$ 값도 커짐을 알 수가 있다. 이 그림에서 9개의 구획을 나눈 것은 저자들이 임의로 나눈 것이며, 물리적 의미는 없다. 이에 대한 더 자세한 내용은 Kreinet et al.을 참조하라. 이 그림에서 특기할 만한 것은 ΔT 가 약 75년 되는 지역에 $\Delta(O-C)/P$ 값이 상대적으로 매우 적은 것이다. 이 이유를 면밀히 조사해 본 결과, 이는 제1차 세계대전으로 인하여 그 시기에 관측된 별들이 상대적으로 적었기 때문이다.

β Per

● General characteristics

RA (2000)	DEC (2000)	V	Depth		Sp		B-V	Type
			Pri	Sec	Pri	Sec		
03 08 10.1315	+40 57 20.332	2.12	1.3	0.1	B8V	G8IV	-0.05	EA/SD

● Catalogue numbers

BD	HD	SAO	CoD	CPD	HV	BV	HR	ADS	FL	Others
+40 0673	19356	38592	-	-	-	-	936	2362A	253	BOSS708

● Statistics of collected times of minima

Total Number	Type		Method						Year
	Pri	Sec	Vi	P	Pg	Pe	Ccd	Other	
1365	1359	6	1230	0	3	132	0	0	1783-1998

● Light elements : $Min I = JD\ Hel\ 2440953.4657 + 2.^d8673075E$

● Type of scale : XLYI

● Comments : Only pe minima after JD 2422321

● References

- Albo, H. 1965, Tartu Publ., 35, 164
- Baldwin, M. & Samolyk, G. 1999, AAVSO Obs. minima timings No 5
- Frieboes-Conde, H., Herczeg, T. & Hog, E. 1970, A&A, 4, 78
- Kopal, Z., Plavec, M. & Reilly, E. 1960, Jodrell Bank Ann., 1, 374
- Mallama, A. D. 1978, PASP, 90, 706

그림 1. 도록집에 수록된 별의 일반적인 특성을 기술한 예(β Per).

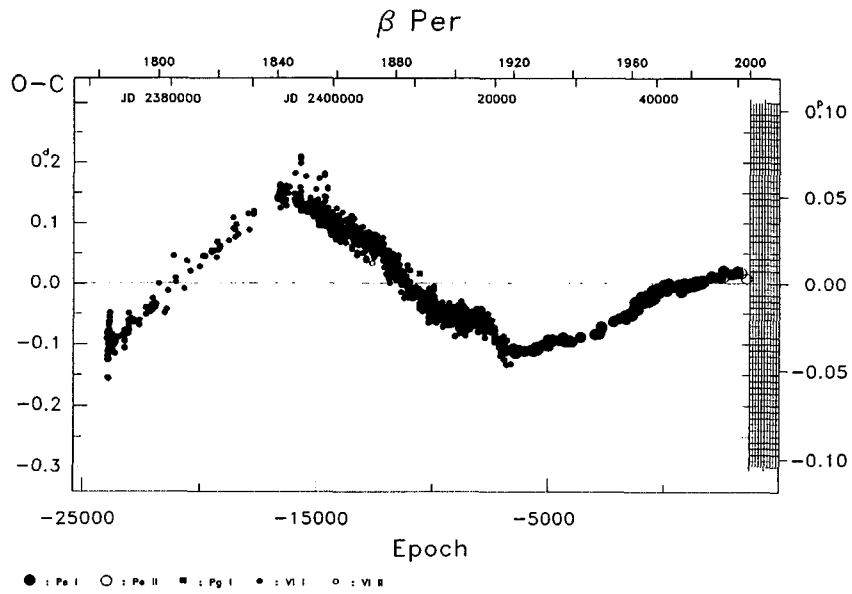


그림 2. β Per의 (O-C) 도.

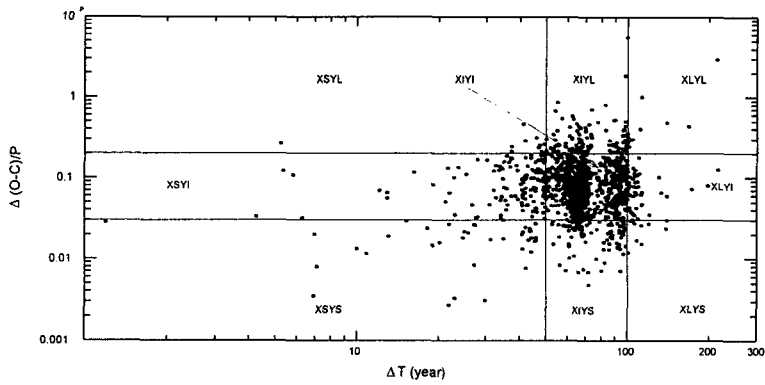


그림 3. 도록집에 수록된 별들의 활동 척도. $\Delta(O-C)/P$ 는 각별의 (O-C)값의 최대와 최소 값의 차이를 공전주기 P로 나눈 것이며, ΔT 는 각 별의 맨 나중 극심시각과 처음 극심시각의 차이이다. 각 구획의 의미는 Kreiner et al.을 참고하라.

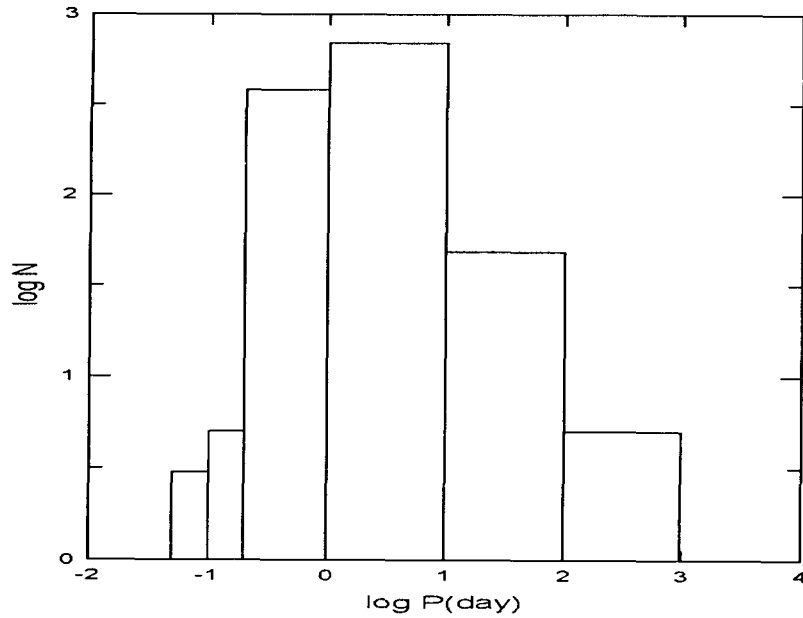


그림 1. 도록집에 수록별의 공전주기의 개수 분포.

(O-C) 도록집 발간 의의: 이 도록집의 주요한 의의는 여러 문헌에 흩어져 있었던 각 별들의 방대한 극심 시각들을 조직적으로 수집하여 한군데에서 각 별들의 (O-C) 도를 비교해 볼 수 있는 최초의 작업이라는 데에 있다. 부가하여 연구자들이 쌍성의 진화 단계별로, 쌍성의 기하학에 따라, 또는 다른 특성에 따라 주기 변화를 연구할 때, 이 도록집을 사용할 수 있으리라 기대하고 있다.

마지막으로 이 도록집이 발간되기까지 물심양면으로 도와주시고 격려하여 주신 모든 여러분들께 이 지면을 통하여 심심한 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

Kreiner, J. M., Kim, C.-H. & Nha, I.-S. 2001, An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars Part 1-6 (Krakow : Pedagogical Univ. Press)