

## 식쌍성의 공전주기 변화에 관한 특성\*

- EA형과 준분리형을 중심으로 -

오 규 동  
전남대학교 사범대학 지구과학교육과

## CHARACTERISTICS OF PERIOD VARIATION OF ECLIPSING BINARY STAR

Kyu-Dong Oh  
Department of Earth Science, Chonnam National University  
Kwangju, 500-757, Korea

(Received November 10, 1992; Accepted December 1, 1992)

### 요 약

EA형이며 준분리형에 속하는 19개의 식쌍성에 대한 공전주기 변화를 조사하였다. 그런데 각 식쌍성의 주기 변화가 갑작스러운 주기 변화를 보이는 일차항의 광도요소를 갖는다는 가정하에 주기 변화를 분석하였다. 이러한 분석을 통하여 각 식쌍성의 주기 변화와 그 별의 물리량과의 상관관계를 조사하였다.

### ABSTRACT

Among the EA and semi-detached type binary systems, nineteen eclipsing binaries were investigated for their period variations from all of the collected times of minima available in the literature. After the period study of each individual binary, an attempt was made, in view of the linear ephemeris showing abrupt change in period, to give a physical interpretation to the combined observational result. The correlation between period changes and physical parameters of the investigated binary systems are discussed.

---

\*본 연구는 한국학술진흥재단의 91 자유공모 지방대학육성 학술연구조성비에 의하여 수행되었음.

## 1. 서 론

식쌍성의 공전주기 변화에 대한 연구는 식쌍성의 극심시각의 관측과 분석을 통하여 지속적으로 연구되어져 왔다. 그러나 지금까지 식쌍성의 공전주기 변화의 원인을 제3체에 의한 광시간 효과와 궤도 장축의 변화에 따른 근성점 운동을 제외하고는 명확하게 설명하지 못하고 있다. 따라서, 그 원인을 일반적으로 식쌍성의 주성과 반성 사이의 질량교환이나 쌍성 자체로부터의 갑작스런 질량의 분출 혹은 이들의 복합적인 원인과 같은 여러 원인으로 해석하고 있다 (Rafert 1982, Hall 1990). 한편, 쌍성의 진화 이론 (Plavec 1970, Paczynski 1971)에 따르면, 질량이 보다 큰 별로 부터 질량이 작은 다른 한 별로 질량의 교환이 이루어지는 빠른 질량교환 (rapid mass transfer)의 진화 단계에서는 공전주기가 감소해야만 하며, 이러한 지속적인 질량 교환을 통하여 질량비가 역전된 후에는 반대로 공전주기가 증가하여야 한다. 이와같은 지속적인 두 별 사이의 질량 교환은 결과적으로 근접쌍성의 공전주기 변화에 따른  $O-C$  도에서 공전주기 변화의 모습이 포물선과 같은 연속적인 곡선의 형태로 나타나게 될 것이다 (Paczynski 1970).

그러나, 현재 근접쌍성의 관측에 의한 측광학적 시간의 범주는 항성 진화의 항구적인 시간의 범주에 비교하여 대단히 짧기 때문에 식쌍성의 공전주기의 증가나 감소를 단순히 근접쌍성의 진화 이론에 따른 질량 교환으로만 설명할 수는 없는 것이다. 더구나, 많은 수의 식쌍성들이 측광학적 시간의 범주 안에서 공전주기의 증가와 감소를 반복하는 주기 변화를 나타내고 있기 때문에 이러한 설명을 더욱 어렵게 한다. 최근, 이러한 반복하는 주기 변화를 설명하기 위하여 주기적인 자장 활동에 근거한 새로운 연구 (Matese and Whitmire 1983, van Buren and Young 1985, Applegate and Patterson 1987, Applegate 1989)들이 제시되고 있으나 반복하는 주기 변화를 확실하게 설명하지는 못하고 있다.

이와같이 지금까지 여러 연구자들에 의하여 근접쌍성의 공전주기 변화의 원인들을 설명하기 위한 많은 시도에도 불구하고 이에 대해 명확한 규명을 하지 못하고 있는 것이다. 한편, 근접쌍성의 공전주기가 변화 한다는 문제는 쌍성의 탄생과 진화에 직접적으로 혹은 간접적으로 관련된 문제로서 이에 대한 설명은 별의 진화에 관하여서도 대단히 중요한 요인이 되는 것이다. 그러므로 근접 쌍성의 공전주기 변화와 쌍성의 진화와의 관련되어 있는 여러가지 물리적 특성과의 상호 관련성을 조사하여 본다는 것은 매우 흥미 있는 연구이다.

이번 연구에서는 공전주기가 변하는 19개의 EA형의 준 분리형 식쌍성의 공전주기 변화를 조사하였으며, 조사된 EA형의 준분리형 식쌍성인 경우 그 공전주기 변화량과 별의 물리적 성질 — 질량, 반경, 각운동량 등 — 과 어떤 상관관계를 나타내고 있는가를 조사하였다.

## 2. 공전주기 변화와 $O-C$ 도

공전주기가 변하는 19개의 EA형의 준분리형 식쌍성들에 대한 공전주기 변화를 조사하였다. 공전주기 변화를 조사하기 위하여 지금까지 발표된 각 식쌍성의 극심시각을 이용할 수 있는 대부분의 문헌을 통하여 수집하였다. 한편, 수집된 극심시각으로부터 각 식쌍성의 광도요소를 근거로하여 각각의  $O-C$  도를 완성하였다. 서론에서도 밝힌 바와 같이 각 식쌍성의 공전주기 변화는 다양한 변화의 형태로 나타나기 때문에  $O-C$  도 상에서 공전주기의 형태가 연속적으로 변화하는 다항식이거나 혹은 삼각법의 함수에 의한 변화로 나타낼 수도 있다. 그러나, 또 다른 한편으로는 어느 한 기점을 중심으로 갑작스러운 주기 변화를 보이며 따라서  $O-C$  도 상에서 직선의 형태로 나타내 보일 수도 있다. 이번 연구에서는 후자의 접근 방법을 택하여 각 식쌍성의 공전주기 변화량 ( $\Delta P$ )을 조사하였다. 그런데, 공전주기가 반복적인 주기 변화를 보이는 식쌍성에서는 주기가

표 1. 19개의 식쌍성의 광도요소.

Star Name		Light Element		
RT	And	<i>JD</i> 2441141.8890	+	0.62892967 <i>E</i>
XZ	And	<i>JD</i> 2439033.4677	+	1.35727890 <i>E</i>
RX	Cas	<i>JD</i> 2416250.7310	+	32.33046000 <i>E</i>
SX	Cas	<i>JD</i> 2433963.6840	+	36.56403000 <i>E</i>
TW	Cas	<i>JD</i> 2442008.3887	+	1.42832280 <i>E</i>
RS	Cep	<i>JD</i> 2440862.6770	+	12.42010500 <i>E</i>
XX	Cep	<i>JD</i> 2441539.5043	+	2.33731210 <i>E</i>
XY	Cep	<i>JD</i> 2433514.5106	+	2.77451640 <i>E</i>
SW	Cyg	<i>JD</i> 2438602.5821	+	4.57315600 <i>E</i>
Z	Dra	<i>JD</i> 2433268.7074	+	1.35744035 <i>E</i>
RX	Gem	<i>JD</i> 2440555.6850	+	12.20833500 <i>E</i>
TX	Her	<i>JD</i> 2440008.3478	+	2.05980520 <i>E</i>
T	LMi	<i>JD</i> 2441725.1863	+	3.01988470 <i>E</i>
TU	Mon	<i>JD</i> 2434068.2175	+	5.04895800 <i>E</i>
AT	Peg	<i>JD</i> 2445615.2502	+	1.14607540 <i>E</i>
RT	Per	<i>JD</i> 2441304.3590	+	0.84939889 <i>E</i>
RW	Per	<i>JD</i> 2429217.5915	+	13.19843700 <i>E</i>
RW	Tau	<i>JD</i> 2439916.7192	+	2.76885080 <i>E</i>
TX	UMa	<i>JD</i> 2444998.1442	+	3.06323290 <i>E</i>

증가할 때와 감소할 때의 평균값을 주기 변화량 ( $|\Delta P|$ )으로 택하였다.

표 1은 식쌍성의 공전주기 변화를 조사하기 위한 각각의 *O-C* 도를 얻기 위하여 19개의 식쌍성에 각각 적용된 광도요소이다.

#### RT And

준분리형으로 채층에서의 활동이 심한 RS CVn형인 RT And의 공전주기가 변한다는 사실은 Payne-Gaposchkin (1946)에 의하여 알려졌으며, 그후 Wood (1950)는 처음으로 공전주기가 변화하는 원인이 두 별 사이의 불연속적인 질량교환일 것이라는 것을 제시하였다. Williamon (1974)는 RT And에 대한 대부분의 극심시각을 수집하여 공전주기 변화를 조사하였으며 Williamon에 의하여 수집되지 못한 극심시각과 그 이후에 발표된 극심시각들이 수집되었다.

그림 1의 *O-C* 도는 수집된 534점의 극심시각을 표 1의 광도요소를 사용하여 계산된 *O-C* 값으로 부터 얻은 것이다. RT And의 주기 변화는 두 개의 일차항으로 대표되며 각각의 광도요소는 다음과 같다.

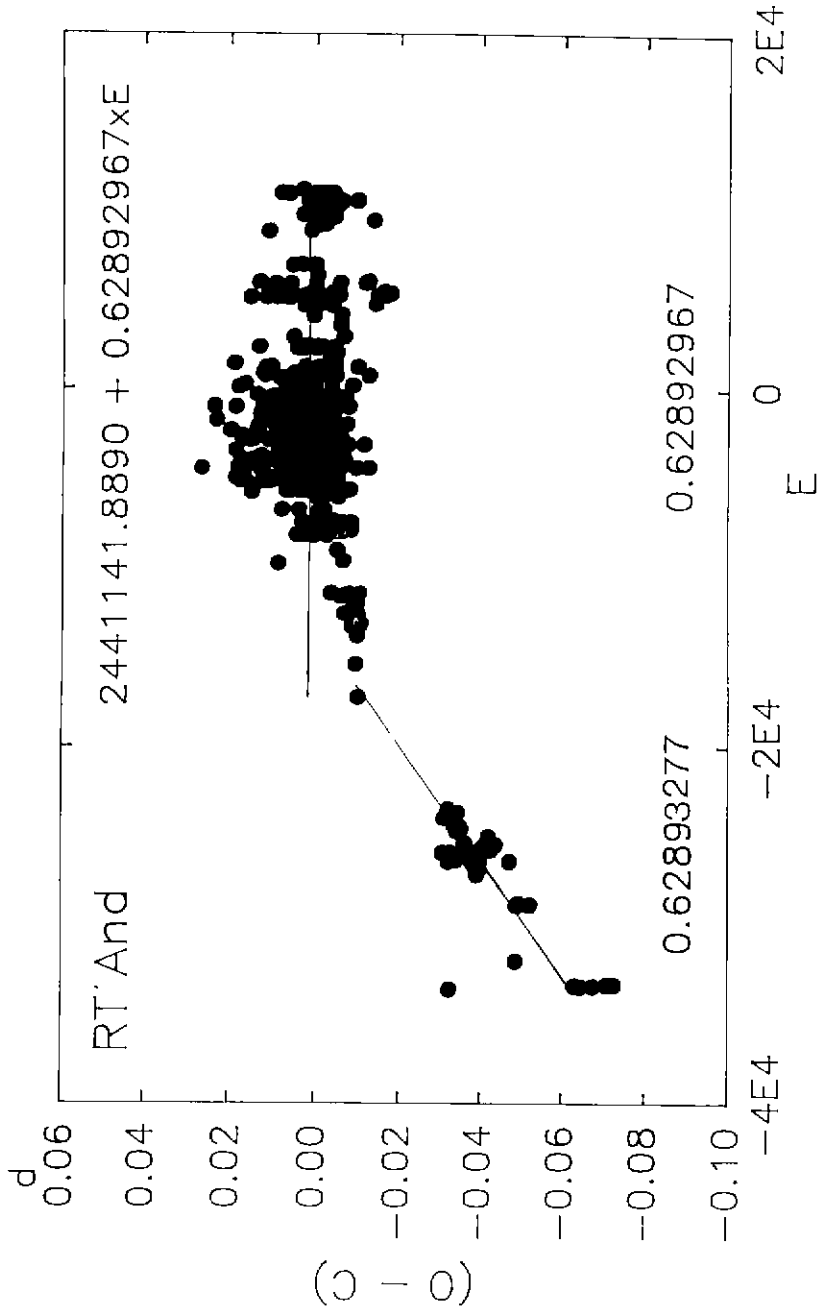


그림 1. RT And의 O-C도.

$$\text{Min. } I = \text{JD } 2441141.9312 + 0.62893277 E \text{ for } E < -17000$$

$$\text{Min. } I = \text{JD } 2441141.8890 + 0.62892967 E \text{ for } E > -17000$$

RT And의 주기 변화에 대한 그림 1의  $O-C$  도에 따르면 RT And는  $E = -17000$  근처에서 갑작스러운 주기 감소를 보이며 이때의 주기 감소량  $\Delta P$ 는  $0^d.00000310$  이다.

### XZ And

XZ And는 Dugan and Wright (1939)에 의해 불규칙적인 주기 변화를 나타낸다는 것이 알려진 후 Wood (1950), Friebos-Conde and Herczeg (1973) 그리고 Rafert (1982) 등에 의하여 주기 변화에 대한 분석들이 있었다. 이 중에서도 Friebos-Conde and Herczeg와 Rafert는 XZ And의 주기 변화의 원인으로서 제3체에 의한 광시간 효과의 가능성을 제시하였다.

그림 2는 지금까지 발표된 252점의 극심시각을 표1의 광도요소를 적용하여 얻은  $O-C$  도이다. 그림2의  $O-C$  도에 따르면 XZ And는 극심시각이 관측된 이래 3번의 갑작스러운 주기 변화를 보이며 이러한 주기 변화를 4개의 일차항으로 대표되는 다음의 광도요소로 나타내었다.

$$\text{Min. } I = \text{JD } 2439033.3653 + 1.3572629 E \text{ for } E < -2100$$

$$\text{Min. } I = \text{JD } 2439033.4457 + 1.3572947 E \text{ for } -2100 < E < 1400$$

$$\text{Min. } I = \text{JD } 2439033.4677 + 1.3572789 E \text{ for } 1400 < E < 5600$$

$$\text{Min. } I = \text{JD } 2439033.3863 + 1.3572934 E \text{ for } 5600 > E$$

그림 2의  $O-C$  도에 나타난 바와 같이 XZ And의 공전 주기 변화는 지금까지 조사된 많은 식쌍성의 주기 변화와는 또 다른 변화의 형태를 나타내고 있다. 일반적으로 일부분의 Algol형으로 준분리형인 식쌍성의 경우 주기 변화가 반복적인 주기 변화를 보이기는 하나, XZ And의 경우에는 현재로서 2번 연속적으로 반복하는 주기 변화를 보이는 특이한 식쌍성으로 보다 많은 극심시각의 관측이 요구된다.

XZ And는  $E = -2100$  에서  $+0^d.0000318$  의 주기 증가를 보이며  $E = 1400$ 에서는  $-0^d.0000158$ 의 주기 감소를 나타낸다. 그러나, 또 다시  $E = 5600$ 에서는  $+0^d.0000145$ 의 반복적인 주기 변화를 나타낸다. 이로 부터 XZ And의 평균주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.0000207$ 로 계산되었다.

### RX Cas

RX Cas는 공전주기 변화의 폭이 대단히 크게 나타나는 매우 흥미있는 식쌍성이다. RX Cas의 공전주기 변화에 대한 연구는 여러 연구자 (Gaposchkin 1944, Martynov 1950, Kreiner 1978, Kriz *et al.* 1980)에 의하여 발표되었다. 대부분의 극심시각들은 Martynov, Kreiner 그리고 Kriz *et al.*에 의하여 수집 분석되었으며 그림 3은 지금까지 발표된 70점의 극심시각들을 표1의 광도요소를 사용하여 얻은 RX Cas의  $O-C$  도이다.

그림 3의  $O-C$  도는 다음 두 광도요소로 대표된다.

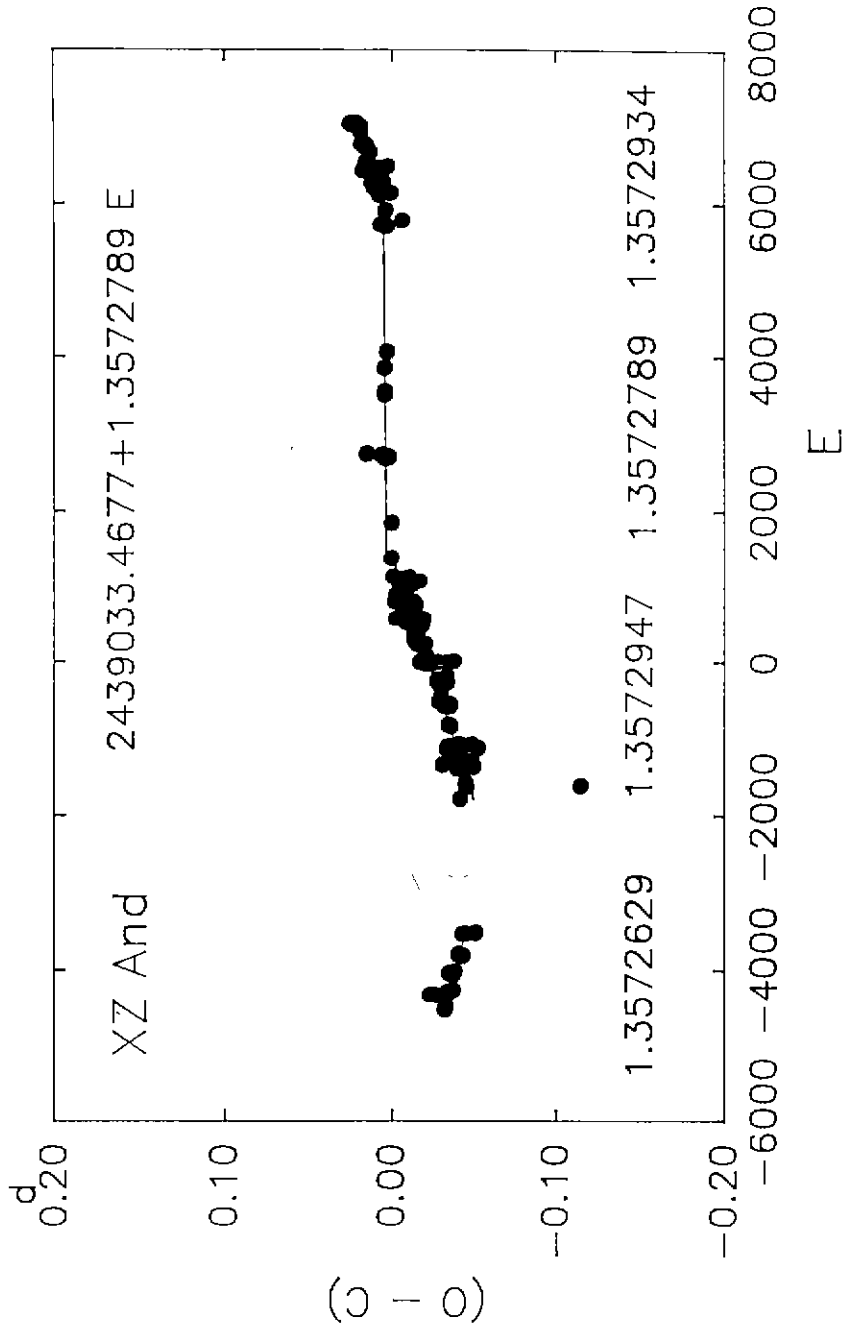


그림 2. XZ And의 O-C 도.

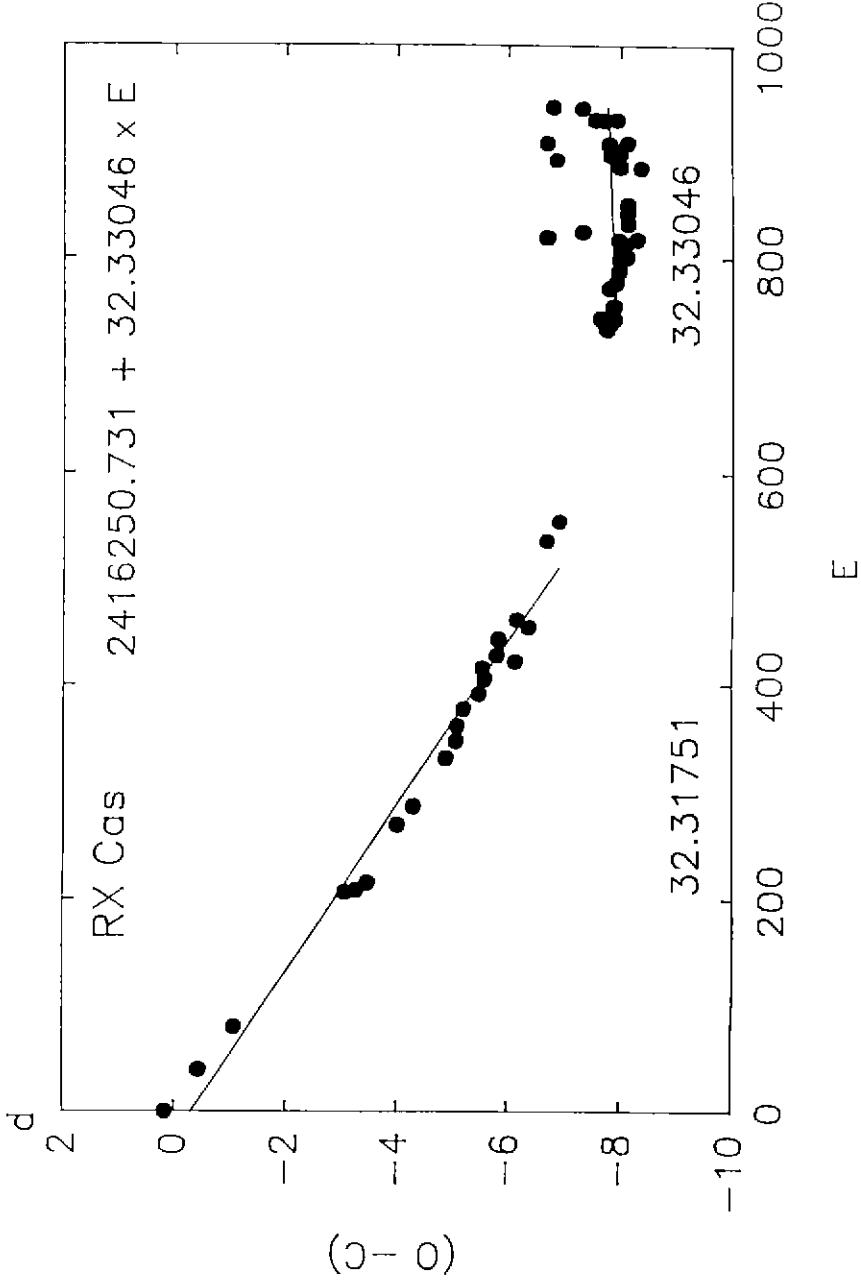


그림 3. RX Cas의 O-C도.

$$\text{Min. } I = JD\ 2416250.428 + 32.31751 E \text{ for } E < 600$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2416250.731 + 32.33046 E \text{ for } E > 600$$

RX Cas의  $O-C$  도로 부터  $E = 600$ 에서의 주기 증가량,  $\Delta P$ 는  $+0^d.01295$  이다. 한편, RX Cas는 여러 연구자들에 따라 서로 다른 분류로서 제시하고 있는데 Koch (1972)은 분리형으로, Hall (1974)과 Andersen *et al.* (1989)는 준분리형으로 그리고 심지어 Strupat (1987)는 접촉형으로도 분류하고 있다. 그러나, 대부분의 연구자들은 RX Cas를 대체적으로 EA형의 준분리형으로 분류하고 있다. 그런데, Kriz *et al.* (1980)가 Struve (1944)의 시선속도곡선을 재 분석하여 얻은  $K_1 = 34.9\text{km/sec}$ 와  $K_2 = 31.2\text{km/sec}$ 의 값 — 주성 보다는 반성의 질량이 큰 — 을 고려 한다면, RX Cas는 빠른 질량 교환 (rapid mass transfer)의 진화 단계로서도 설명되어 질 수 있다고 주장하였다.

#### SX Cas

Whitney (1978)는 그 당시까지 발표된 대부분의 극심시각을 수집하여 SX Cas의 공전주기 변화에 대하여 조사하였다. 그림 4의  $O-C$  도는 지금까지 관측된 발표된 78점의 극심시각을 표1의 광도요소를 사용하여 얻었다. 그림 4의  $O-C$  도는  $E = 140$ 에서 갑작스러운 주기 변화를 보이는 두 직선으로 나타난다. 1966년에서의 공전주기 감소량 ( $\Delta P$ )은  $-0^d.00312$ 이다. 그런데, Guinan and Tomczyk (1979)도 우리와 비슷한  $0.00352$ 의 주기 감소 값을 얻었으며 이러한 공전주기의 감소는 질량비가 반전되기 전의 소위 빠른 질량교환의 진화 단계일 것이라 주장하였다. 그러나, 지금까지 발표된 극심시각의 관측치가 찾아하는 시간은 대략 70년 동안의 기간으로서 식쌍성의 진화에 비교하여 매우 짧은 범주에 속한다는 것을 생각한다면 Guinan and Tomczyk의 주장은 다소 무리가 따른다고 할 것이다. Kim *et al.* (1988)은 SX Cas의 주기 변화를 2차 방정식의 형식으로 나타내고, 이에 따라 주기 감소를  $0.19\text{s cycle}^{-1}$ 를 얻었다.

#### TW Cas

TW Cas의 공전주기 변화에 대한 연구는 McCook (1971)과 Kandpal(1975)에 의하여 조사 되었으며 방대한 극심시각의 수집과 함께  $O-C$  도는 Rafert (1977)에 의해 조사 되었다. Rafert의 조사 이후 77점의 극심시각을 문헌으로부터 수집하여 모두 176점의 극심시각을 표1의 광도요소를 사용하여 TW Cas의  $O-C$  값을 계산하였으며 그림 5와 같이 TW Cas의  $O-C$  도를 얻었다.

그림 5의  $O-C$  도는 TW Cas가  $E = -8200$  근처에서 갑작스러운 주기 감소를 보이며, 이때의 주기 감소량  $\Delta P$ 는  $0^d.0000030$ 이다. 그림 5에서 TW Cas의 관측된 극심시각들은  $O-C$  도 상에서 다소 산란이 심하게 나타난다.

#### RS Cep

RS Cep는 알골형으로서는 대체적으로 공전주기가 긴 식쌍성에 속한다. RS Cep의 공전주기가 변한다는 사실이 Whitney (1957)에 의하여 알려진 후 Hall *et al.* (1973)은 보다 자세한 주기 변화를 조사 하였는데 그에 따르면 1940년 근처에서 주기가 증가 ( $\Delta P/P = 2 \times 10^{-5}$ )하고 그 원인으로는 두 별 사이의 질량교환 때문이라고 주장하였다. 한편 Hall *et al.* 이후 수집된 극심시각은 없으며 이에 따라 Hall가 발표한 광도요소를 사용하였다.



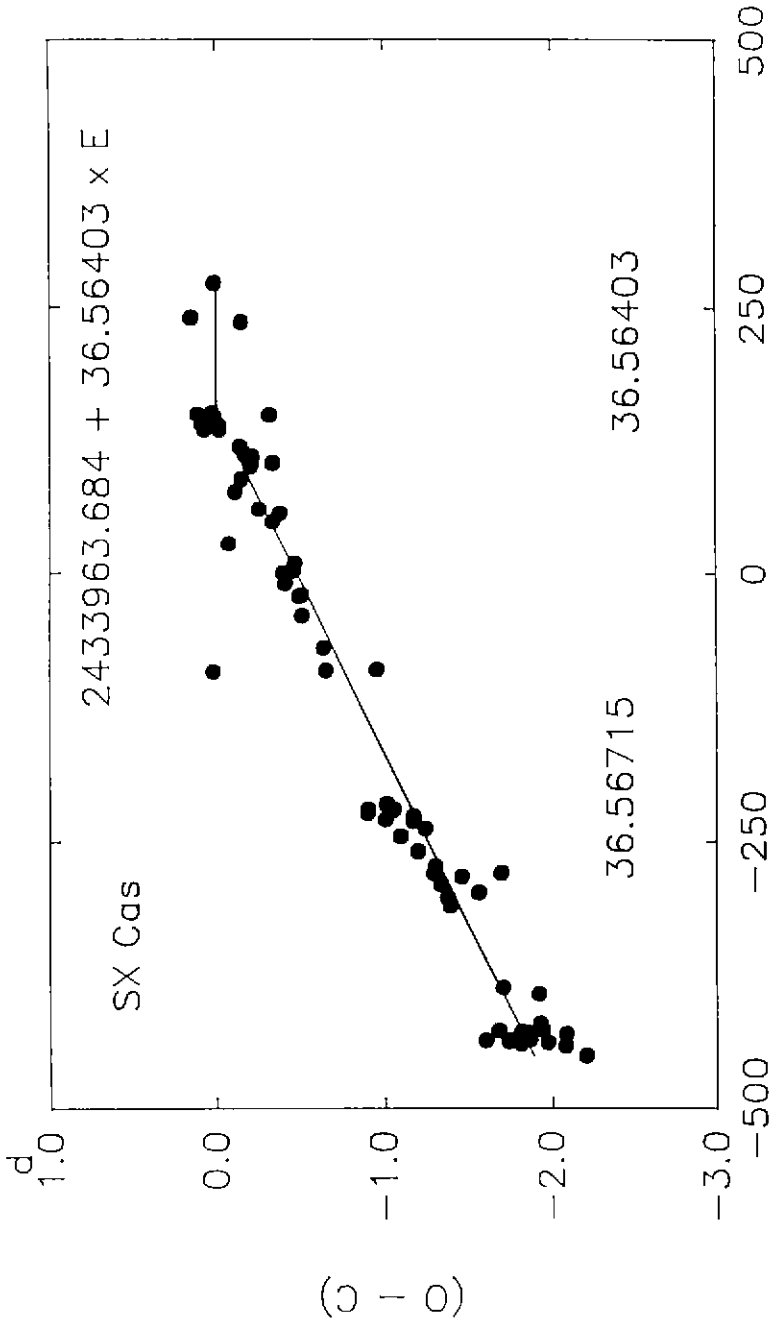


그림 4. SX Cas의 O-C 도.  
E

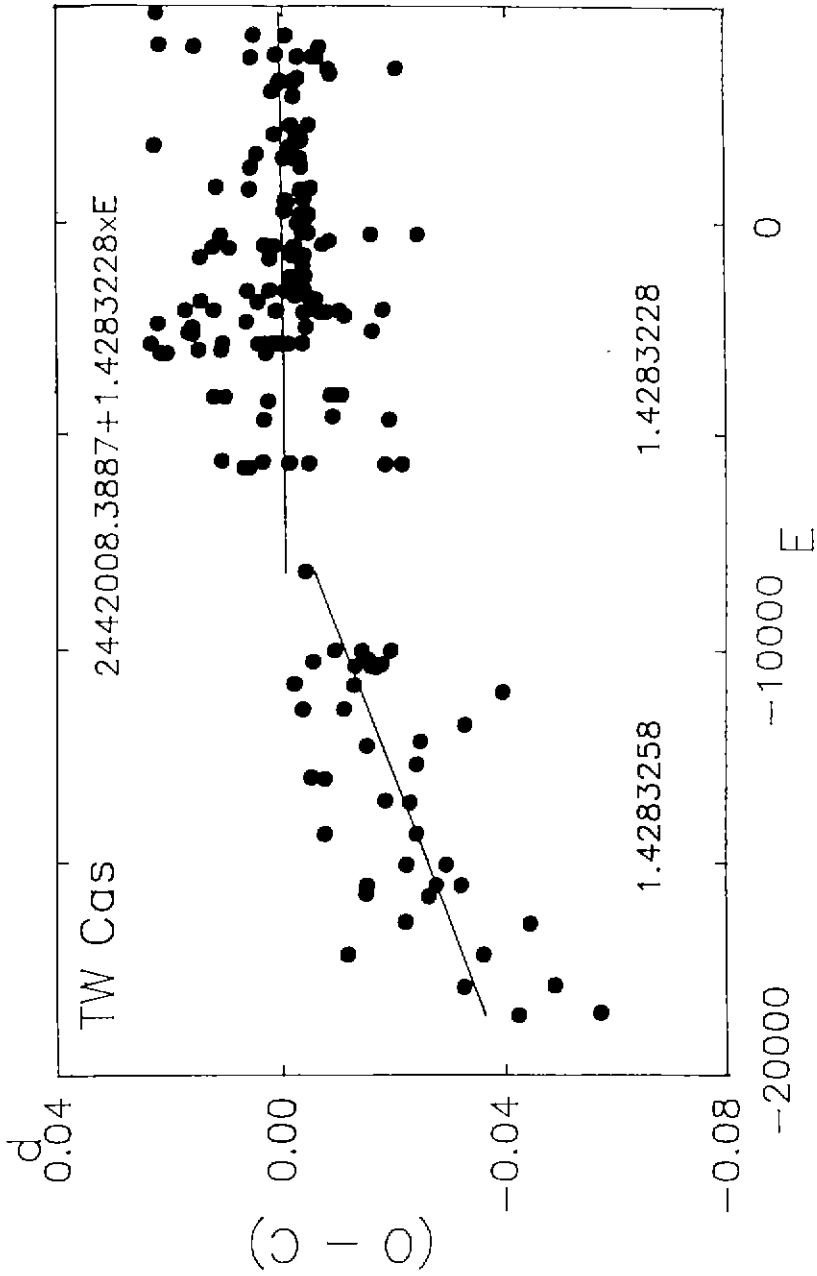


그림 5. TW Cas의 O-C도.

그림 6의  $O-C$  도에서 RS Cep는 Hall *et al.*이 발표한 바와 같이  $E = -840$ 에서 주기의 증가를 나타내며 이때의 증가량은  $0^d.000133$ 이다.

### XX Cep

Battistini *et al.* (1977)과 Majer (1984)는 XX Cep의 대부분의 극심시각의 수집과 함께 공전주기 변화를 자세히 조사하였다. 이들에 의하여 수집 분석된 이후 77점의 극심시각이 수집되었으며 모두 192점의 극심시각을 표1의 광도요소에 의하여  $O-C$  값을 구하고 이로 부터 그림 7의  $O-C$  도를 얻었다.

그림 7의  $O-C$  도는 두번 갑작스러운 주기 변화를 보이는 3개의 직선의 광도요소로 나타내었다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2441539.6427 + 2.3373407\ E \text{ for } E < -5000$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2441539.5043 + 2.3373121\ E \text{ for } -5000 < E < 1500$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2441539.4848 + 2.3373314\ E \text{ for } 1500 < E$$

XX Cep의 공전 주기의 감소와 증가는 각각  $E = -5000$ 과  $E = 1500$  근처에서  $-0^d.0000286$ 과  $+0^d.0000193$ 이며 평균 주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.0000240$ 이다. 그런데, Battistini *et al.*는  $E = -4801$ 를 전후하여 단순히 XX Cep의 주기가 감소한 것 만으로 설명하였다. 그러나, Majer는 우리가 분석한 바와 같이 두번의 갑작스러운 주기 변화로서 XX Cep의 주기 변화를 분석함과 동시에 연속적인 sine 항의 주기 변화로도 설명하였으며 그 변화의 원인으로는 광시 간 효과로 가정하였다.

### XY Cep

Kreiner and Tremko (1988)는 XY Cep의 공전주기가  $JD2442000$ 을 전후하여 감소 ( $\Delta P = 0^d.0000241$ )한다는 것을 알아내고 일차항의 2개의 광도요소로서 XY Cep의 주기 변화를 조사하였다. Kreiner and Tremko 이후 두 점 ( $JD2448222.285, JD2448860.416$ )만 수집되었으며 이 두 점을 포함한 새로운 광도요소를 얻었다. 그림 8의  $O-C$  도는 Kreiner and Tremko가 발표한 광도요소를 수정한 표1의 새로운 광도요소에 의하여 얻었다.

그림 8의  $O-C$  도로 부터  $JD2442000$ 에서의 주기 감소는  $-0^d.0000193$ 이다.

### SW Cyg

SW Cyg의 공전주기 변화에 대한 연구는 Friebos-Conde and Herczeg (1973)와 Hall *et al.* (1979)에 의하여 반복적인 주기 변화로서 설명하였으며, 그후 Rafert (1981)는 일정하게 주기가 증가하는 포물선의 변화로서 조사되었다. 그림 9는 수집된 36점의 극심시각을 표 1의 광도요소를 사용하여 구한  $O-C$  값에 의하여 얻은  $O-C$  도이다.

그림 9에 나타난 바와같이 SW Cyg의 주기 변화는 2번의 갑작스러운 주기 변화를 나타내며 각각의 광도요소는 다음과 같다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2438602.5179 + 4.572980\ E \text{ for } E < -350$$

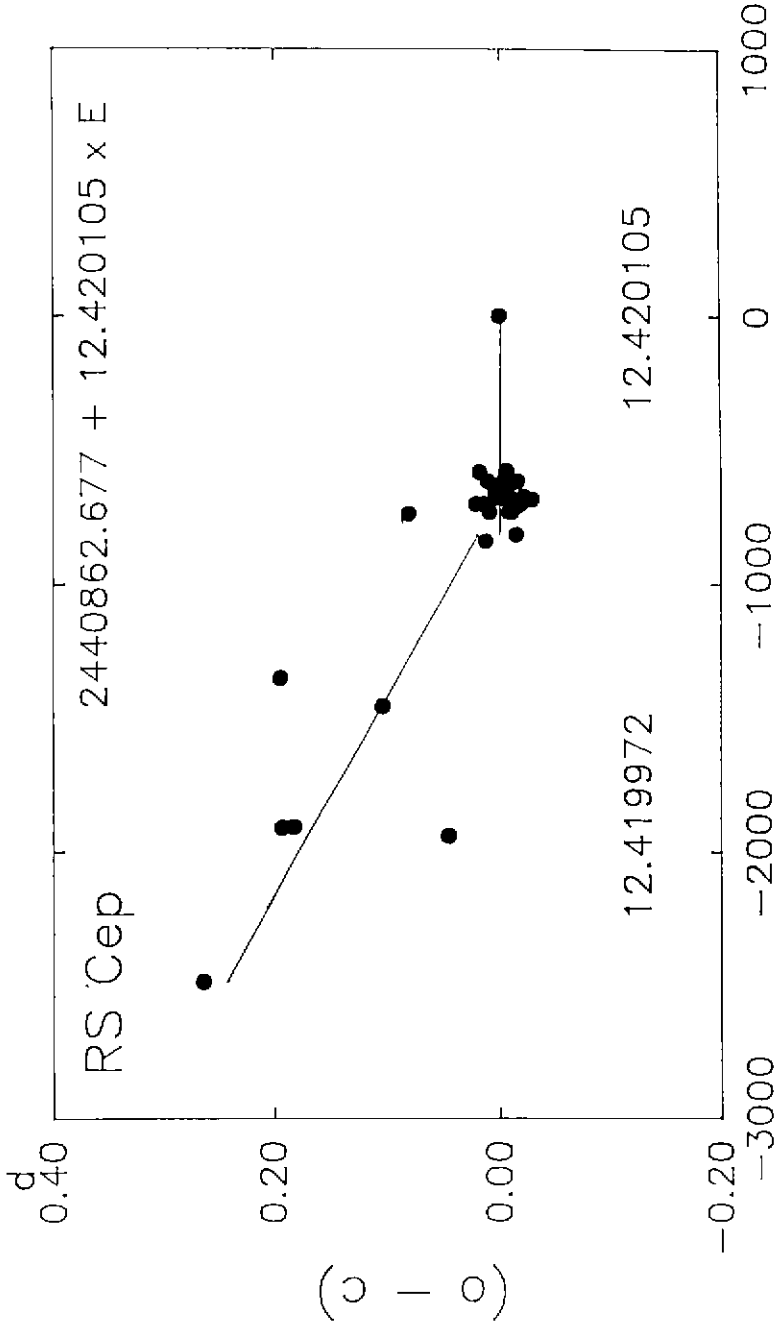


그림 6. RS Cep의 O-C 도.

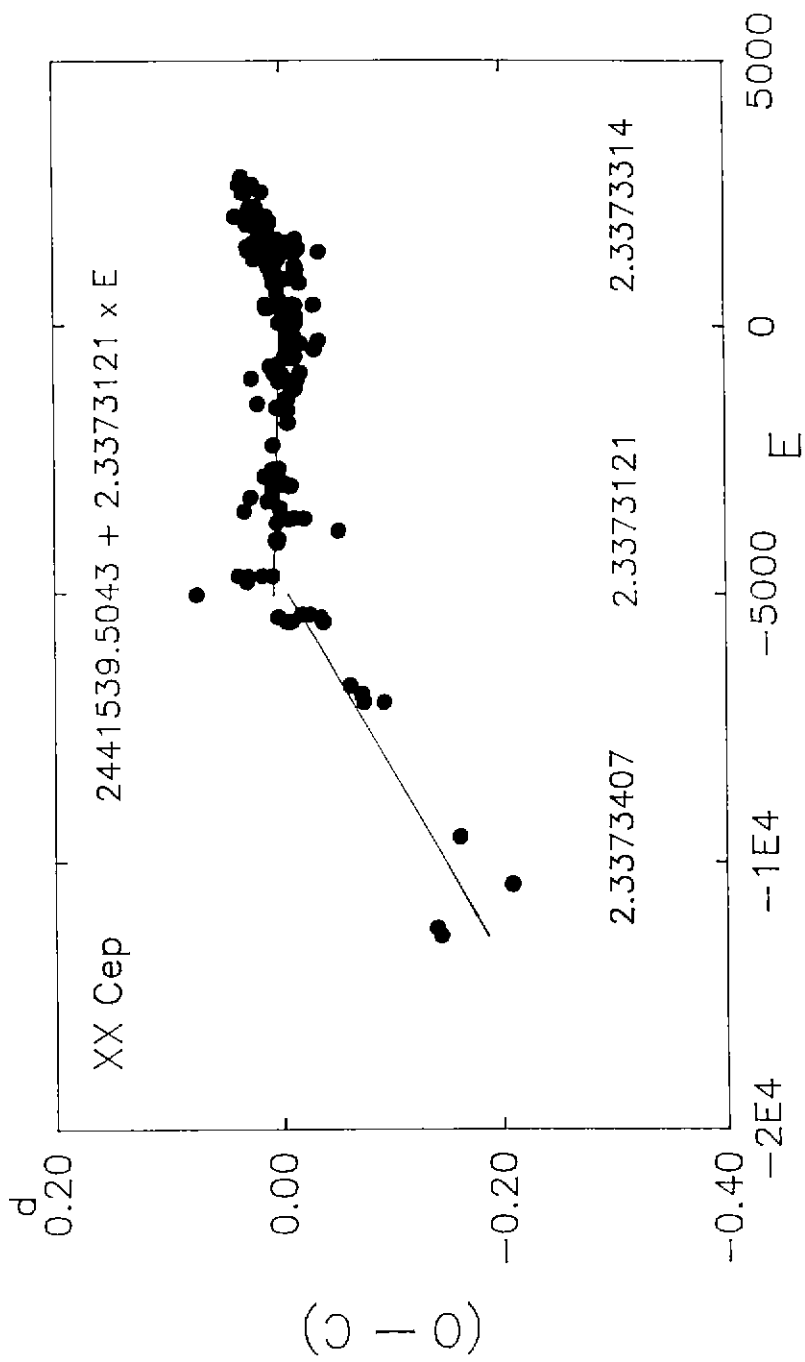


그림 7. XX Cep의 O-C 도.

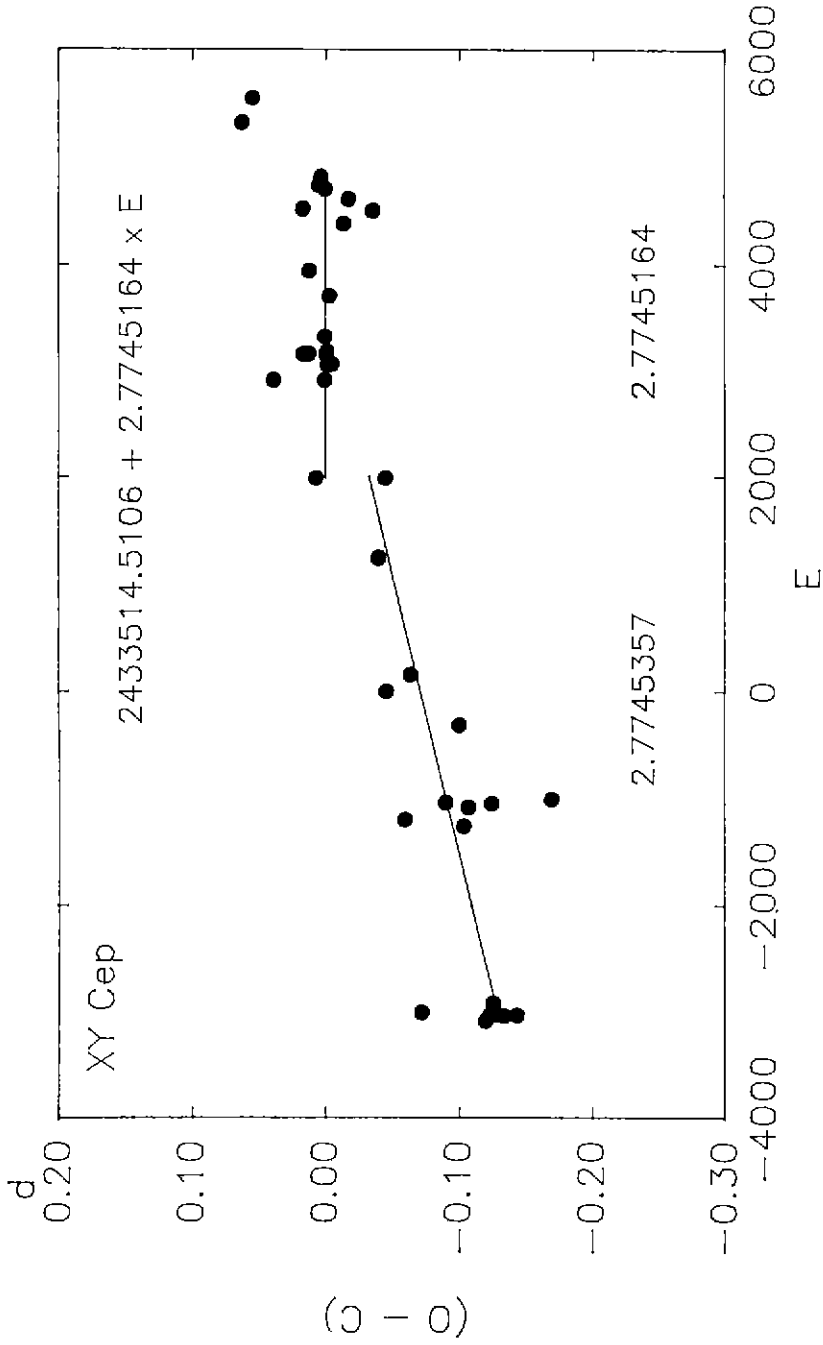


그림 8. XY Cep의 O-C 도.

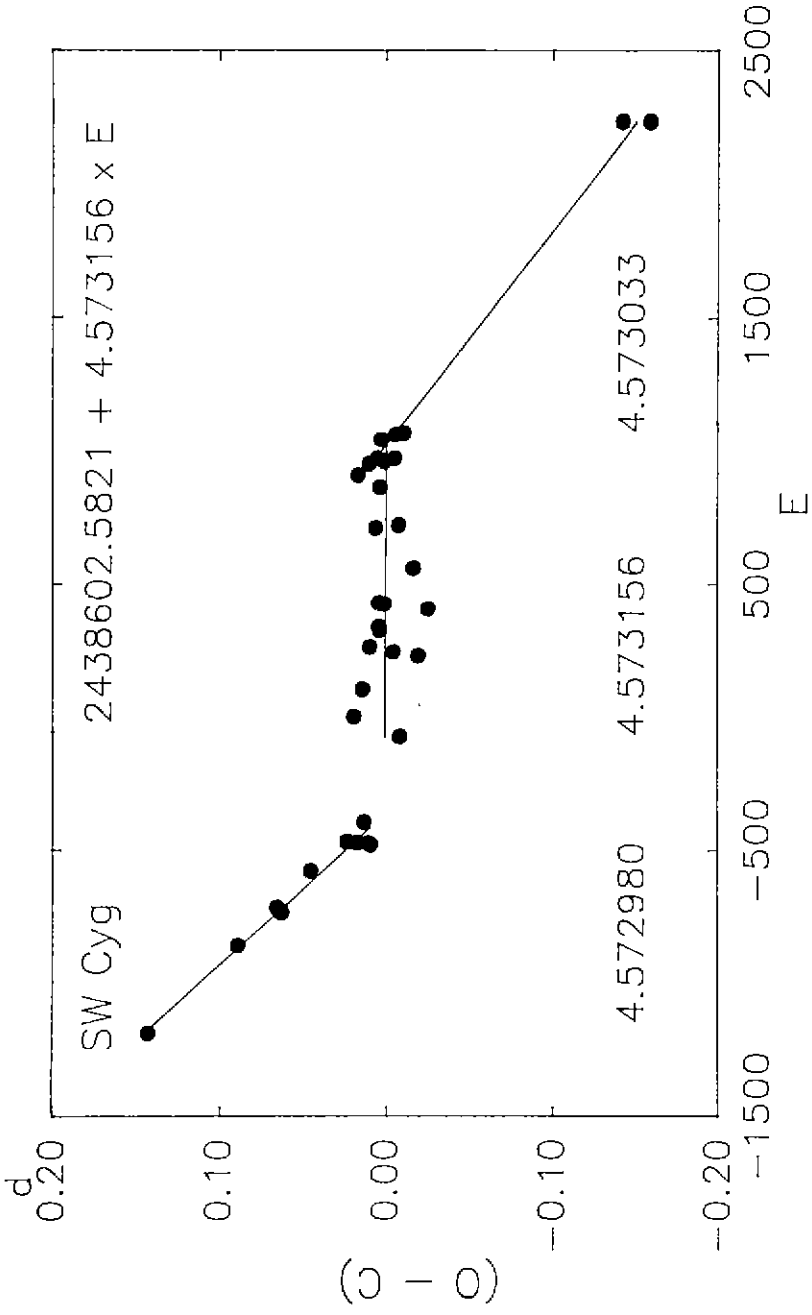


그림 9. SW Cyg의 O-C도.

$$\text{Min. } I = JD\ 2438602.5821 + 4.573156\ E\ \text{for}\ -350 < E < 1050$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2438602.7073 + 4.573033\ E\ \text{for}\ 1050 < E$$

이러한 광도요소에 따르면 SW Cyg의 주기 변화는 각각  $E = -350$  근처와  $E = 1050$  근처에서 갑작스러운 공전주기의 증가와 감소가 나타나며 이때의 주기 증가량과 감소량은 각각  $+0^d.000176$ 과  $-0^d.000123$ 이다. 따라서 SW Cyg의 평균 공전주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.0001495$ 를 얻었다.

### Z Dra

Z Dra의 주기 변화는 Friebos-Conde and Herczeg (1973)에 의하여 제 3체에 의한 광시 간 효과로서 주기 변화를 설명하였으며, Rafert (1982)는 주기 변화의 원인을 규명하지는 않았지만 Z Dra의  $O-C$  도가 주기적인 주기변화의 형태가 있음을 밝혔다. 그리고 이러한 주기적인 주기의 변화는 근성점 운동에 의한 것은 아니라고 주장하였다. 지금까지 수집된 201점의 극심시각을 표1의 광도요소를 사용하여 Z Dra의 주기 변화를 분석하였다.

이번 조사에서는 그림 10에서와 같이 Z Dra의 주기 변화를 직선으로 대표되는 3개의 광도 요소로서 주기 변화의 형태를 나타내었다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2433268.7081 + 1.35742335\ E\ \text{for}\ E < 0$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2433268.7074 + 1.35744035\ E\ \text{for}\ 0 < E < 9900$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2433268.7357 + 1.35741388\ E\ \text{for}\ 9900 < E$$

그림 10의  $O-C$  도로 부터 Z Dra의 주기의 증가와 감소는 각각  $E = 0$ 과  $E = 9900$  근처에서  $+0^d.00001700$ 와  $-0^d.00002647$ 이며 이로 부터 평균 주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.00002174$ 를 얻었다.

### RX Gem

RX Gem의 모든 극심시각은 Hall and Wooley (1973)에 의하여 조사에 의하여 발표되었다. Hall and Wooley의 조사 이후 수집된 3점 (2444633.484, 2444804.450, 2448662.365)의 극심시각만이 수집되었으며, 지금까지 발표된 20점의 극심시각을 표 1의 광도요소에 의하여  $O-C$  값을 산출하였다.

그림 11의  $O-C$  도에서 지금까지 발표된 모든 극심시각들은 두 번의 갑작스러운 주기 변화를 보이는 3개의 직선으로 대표되는 광도요소로 나타난다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2440556.046 + 12.208667\ E\ \text{for}\ E < -1200$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2440555.685 + 12.208335\ E\ \text{for}\ -1200 < E < 300$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2440555.797 + 12.208688\ E\ \text{for}\ 300 < E$$

그림 11의 이번 조사된  $O-C$  도로부터  $E = -1200$  근처에서의 주기 감소값은  $-0^d.000332$ 이며  $E = 300$  근처에서의 주기 증가값은  $+0^d.000353$  로서 평균 주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.000343$



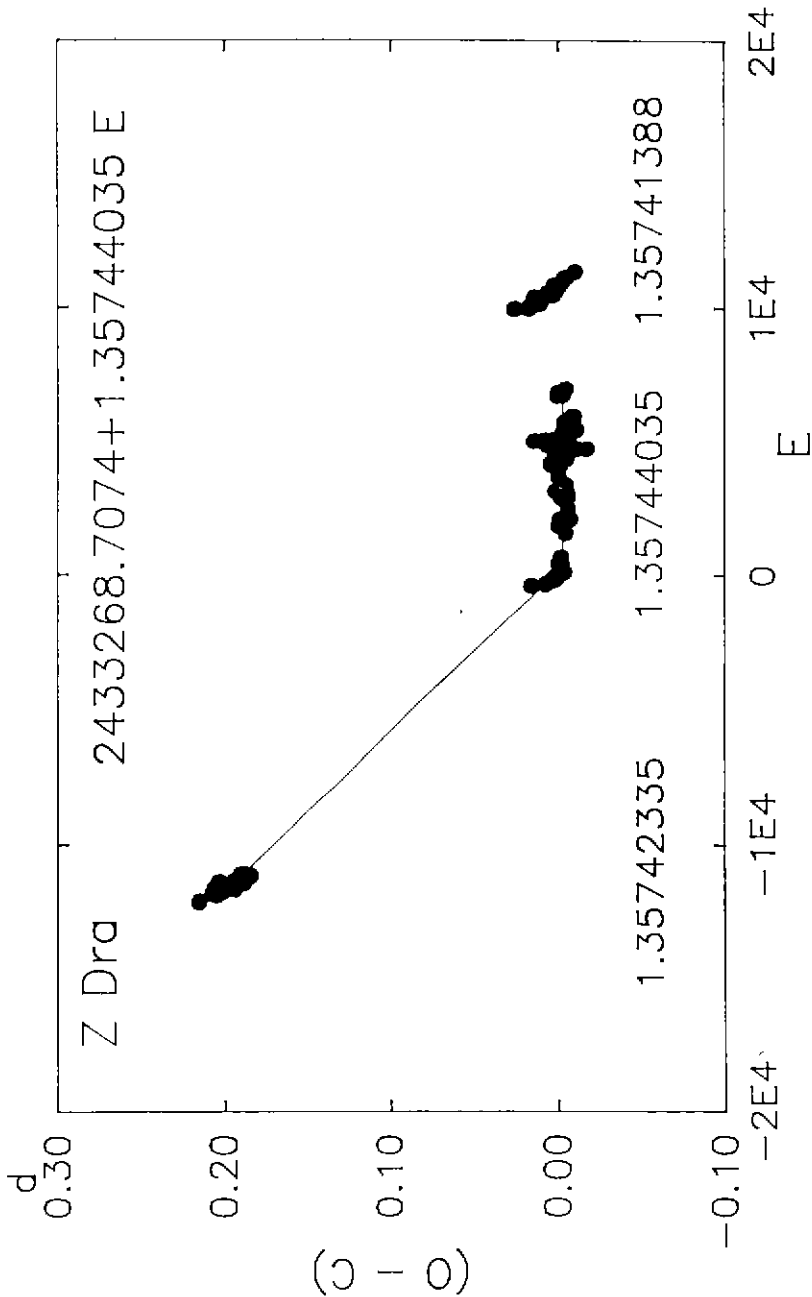


그림 10. Z Dra의 O-C도.

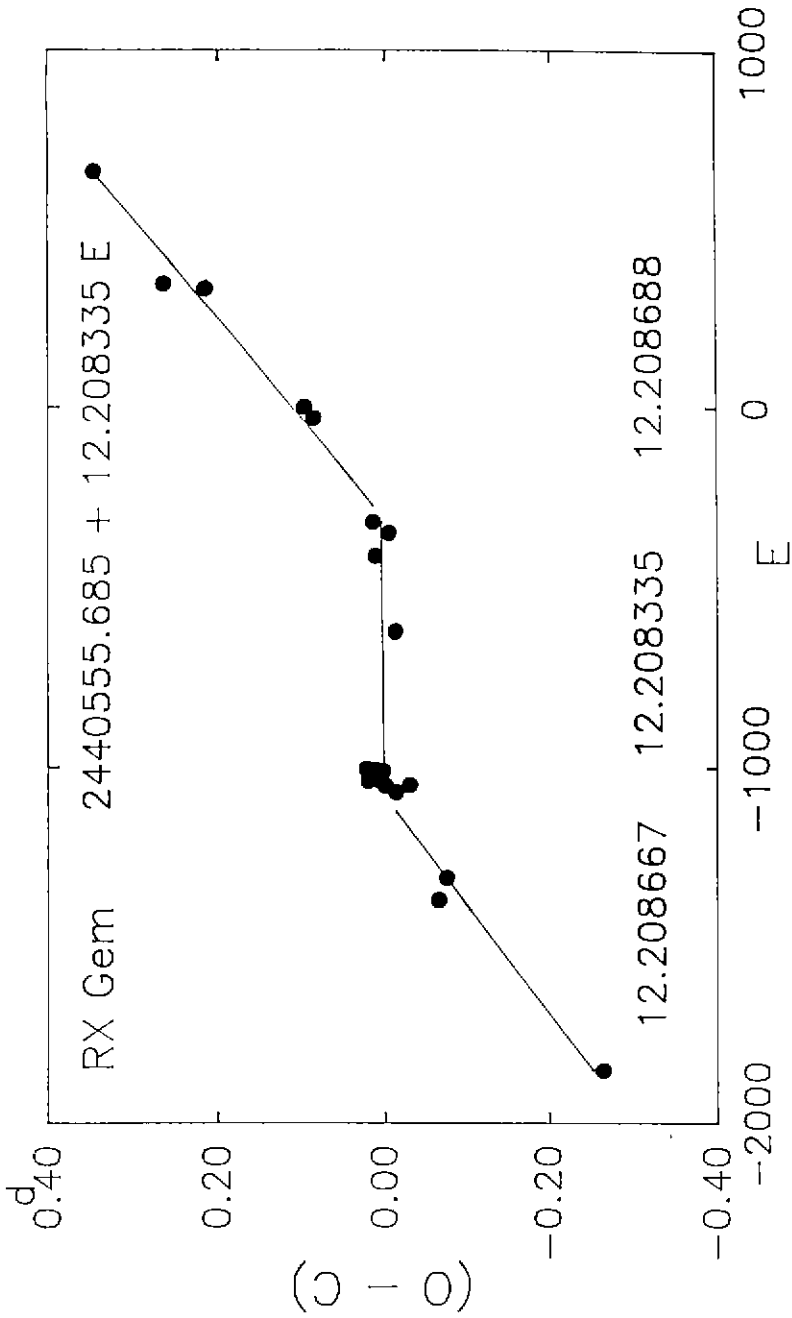


그림 11. RX Gem의 O-C도.

이다. 그런데 Hall and Woolley는  $JD24227600$  근처에서는 이번에 조사된 바와 같이 주기가 증가하는 것으로 발표하였으나,  $JD24227600$  이후의 주기 변화는 연속적으로 변화하는 포물선의 형태로 나타난다고 밝혔다.

### TX Her

연구자에 따라 분리형 혹은 준분리형으로 분류되는 TX Her의 주기 변화에 대한 연구는 Vetesnik and Papousek (1973), van Hamme (1982) 그리고 Rafert (1982)에 의하여 분석되었다. van Hamme 이후 52개의 극심시각의 관측치를 수집하였으며 모두 121점의 극심시각들을 표1의 광도요소를 사용하여  $O-C$  값을 구하였다.

그림 12의  $O-C$  도에서 TX Her의 공전주기 변화를 단속적인 3개의 일차항으로 대표되는 다음의 광도요소로서 나타내었다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2440008.4213 + 2.0598163\ E \quad \text{for} \quad E < -6100$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2440008.3478 + 2.0598052\ E \quad \text{for} \quad -6100 < E < -100$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2440008.3583 + 2.0598142\ E \quad \text{for} \quad -100 < E$$

한편, van Hamme도 이와 같은 단속적인 주기 변화로서 설명과 함께 주기적인 변화의 형태로서 설명하였으나 TX Her의 주기 변화의 원인을 제시하지는 못하였다. 그림 12의  $O-C$  도로 부터  $E = -6100$ 과  $E = -100$  근처에서의 공전주기의 증가와 감소는 각각  $-0^d.0000111$ 와  $+0^d.0000090$ 로서 평균 주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.0000101$ 이다.

### T LMi

T LMi는 Kopal (1956, 1959)에 의하여 R CMa형으로 분류된 식쌍성으로서 Okazaki (1977)과 오규동 (1987)에 의하여 대부분의 극심시각이 수집되어 이 별의 주기 변화에 대하여 조사하였다. 오규동 (1987)의 분석 이후 수집된 T LMi의 극심시각으로 주기 변화를 조사하기 위한  $O-C$  값은 표 1의 광도요소로부터 얻었다.

그림 13의 T LMi의  $O-C$  도는 일반적인 준분리형에서 나타나는 준규칙적인 sine형의 주기 변화를 보이고 있으나 이번 조사에서는 2번 갑작스런 주기 변화를 보이는 3개의 일차적인 광도요소로서 나타내었다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2441725.0117 + 3.0198908\ E \quad \text{for} \quad E < -6000$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2441725.2848 + 3.0199393\ E \quad \text{for} \quad -6000 < E < -2000$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2441725.1863 + 3.0198847\ E \quad \text{for} \quad -2000 < E$$

그런데, T LMi의 주기 변화를 분석한 Okazaki는 T LMi의 주기 변화를 60.9년의 주기로 진폭이 0.0433일의 규칙적인 sine곡선으로 나타나는 주기 변화로도 분석할 수 있으나, 그는 이러한 분석보다는 3개의 단속적인 직선으로 대표되는 주기 변화로서 설명하고 이로 부터 주기  $\Delta P/P$  값  $2 \times 10^{-5}$ 을 구하였다. 한편, 그림 13의  $O-C$  도를 보면  $E = -6000$  근처에서의

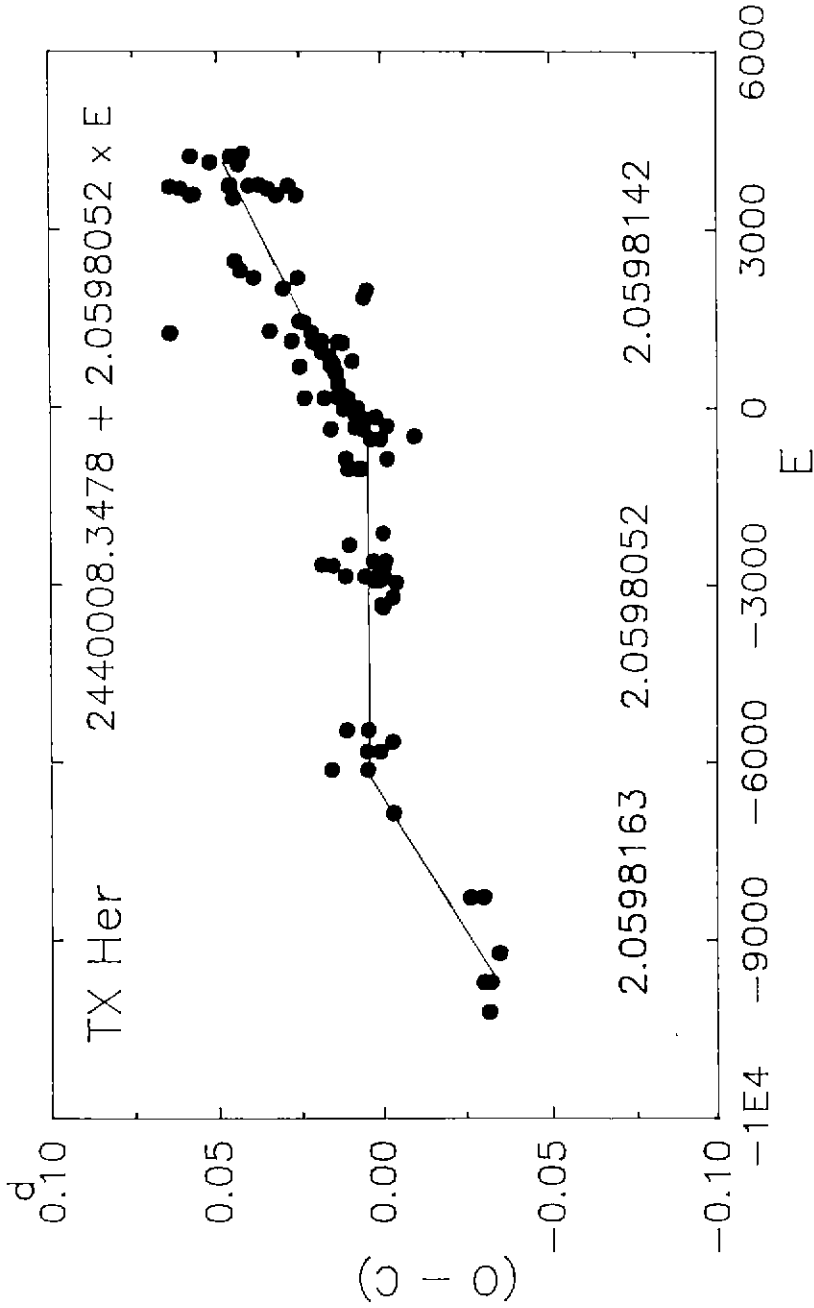


그림 12. TX Her의 O-C도.

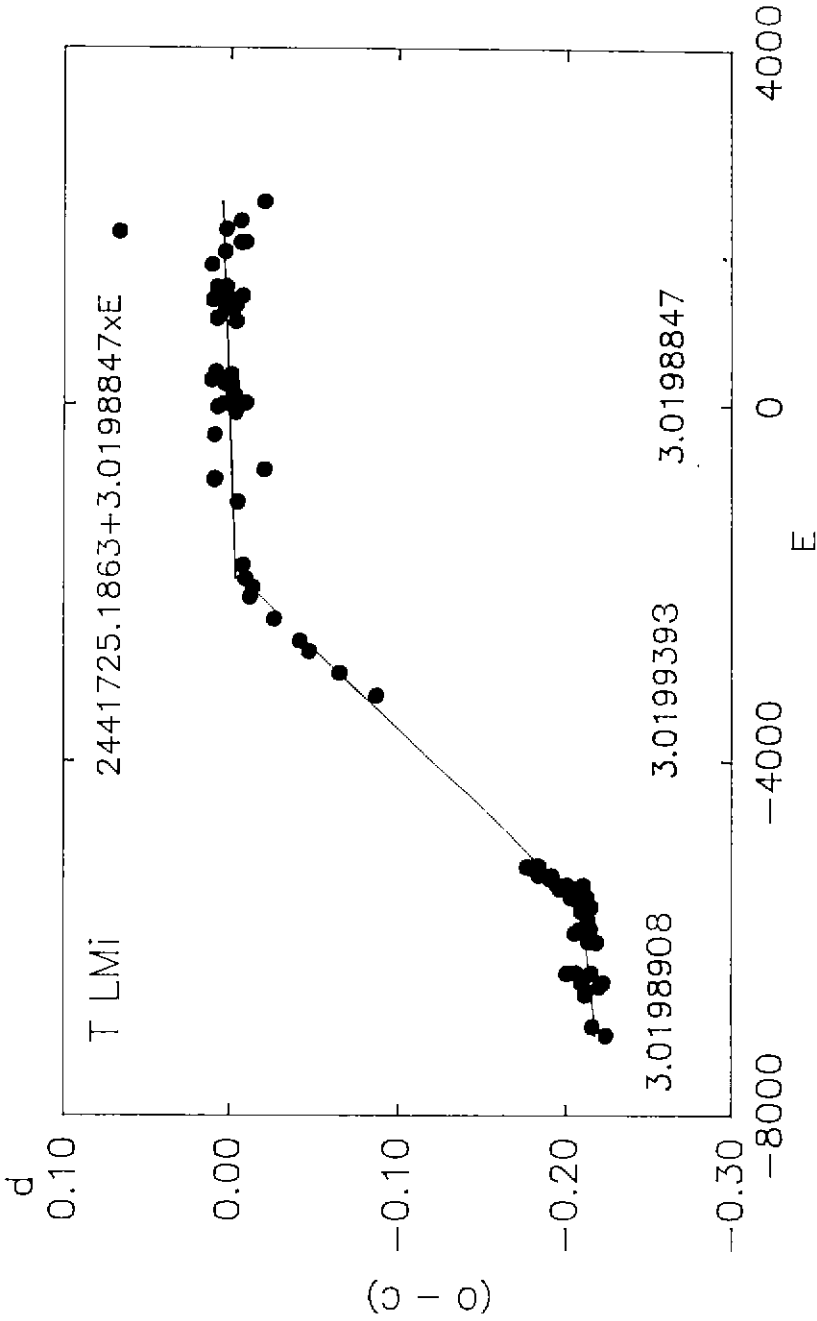


그림 13. T LMi와 O-C 도.

주기 증가는  $+0^d.0000485$ 이며,  $E = -2000$  근처에서의 주기 감소는  $-0^d.0000546$ 로 나타났다. 이러한 주기 변화로부터 T LMi의 평균주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.0000516$ 로 얻었다.

#### TU Mon

TU Mon에 대한 대부분의 극심시각은 Kreiner and Ziolkowski (1978)에 의하여 수집 발표되었다. 그들에 의하여 수집된 이후 단지 5점의 극심시각이 수집되었다. 그런데 지금까지 발표된 28점의 극심시각중에 단 한점 ( $JD2449561.038$ )만이 광전측광 관측치이다. 수집된 극심시각과 표 1의 광도요소를 사용하여 이 별의 주기 변화를 조사하였다.

그림 14의  $O-C$  도는  $E = 1050$  근처에서 주기의 변화를 보이며, 이때의 주기 감소값은  $-0^d.0000697$ 이다. 그런데 Kreiner and Ziolkowski는 TU Mon가 공전주기의 변화를 보이지 않는다고 발표하였었다.

#### AT Peg

AT Peg의 주기 변화에 대한 연구는 Gdr *et al.* (1987)에 의하여 대부분의 극심시각을 수집하여 분석하였다. 그에 따르면 모든 극심시각을 대표하는 광도요소로서 2차항의 광도요소와 함께 주기의 감소율이  $5.5 \pm 0.5$  sec/century를 얻었으며, 또한 광전측광에 의한 극심시각만을 적용하여 얻은 광도요소로부터는 주기의 감소율을  $10.6 \pm 1.1$  sec/century를 얻었다. Gdr *et al.* 이후 32점의 극심시각을 수집하였으며, 모두 104점의 극심시각의  $O-C$  값은 표 1의 광도요소로부터 계산되었다.

그림 15의  $O-C$  도는  $E = -2000$  근처에서 공전주기의 감소를 나타내며 이때의 주기 감소량은  $-0^d.0000176$ 이다.

#### RT Per

RT Per의 주기 변화의 원인에 대해서는 Dugan and Wright (1937)에 의하여 제 3체에 의한 광시간 효과로 분석이 있는 후 Frieboes-Conde and Herczeg (1973)과 Rafert (1977)도 이 별의 주기 변화의 원인으로 광시간 효과를 제시하였다. 지금까지 201점의 극심시각을 수집하고 그 주기 변화를 표 1의 광도요소를 적용하여 분석하였다.

그림 16의  $O-C$  도는 두 번의 갑작스러운 주기 변화를 보이며 관측된 극심시각을 대표하는 3개의 일차항에 의한 광도요소를 얻었다.

$$\text{Min. } I = JD 2441304.4312 + 0.84940898 E \text{ for } E < -7500$$

$$\text{Min. } I = JD 2441304.3590 + 0.84939889 E \text{ for } -7500 < E < 2000$$

$$\text{Min. } I = JD 2441304.3398 + 0.84940609 E \text{ for } 2000 < E$$

그림 16에 따른 RT Per의 주기 변화는  $E = -7500$ 과  $E = 2000$  근처에서 각각 주기의 감소와 증가는  $-0^d.00001009$ 과  $+0^d.00000720$ 이며 따라서 주기의 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.00000864$ 이다.

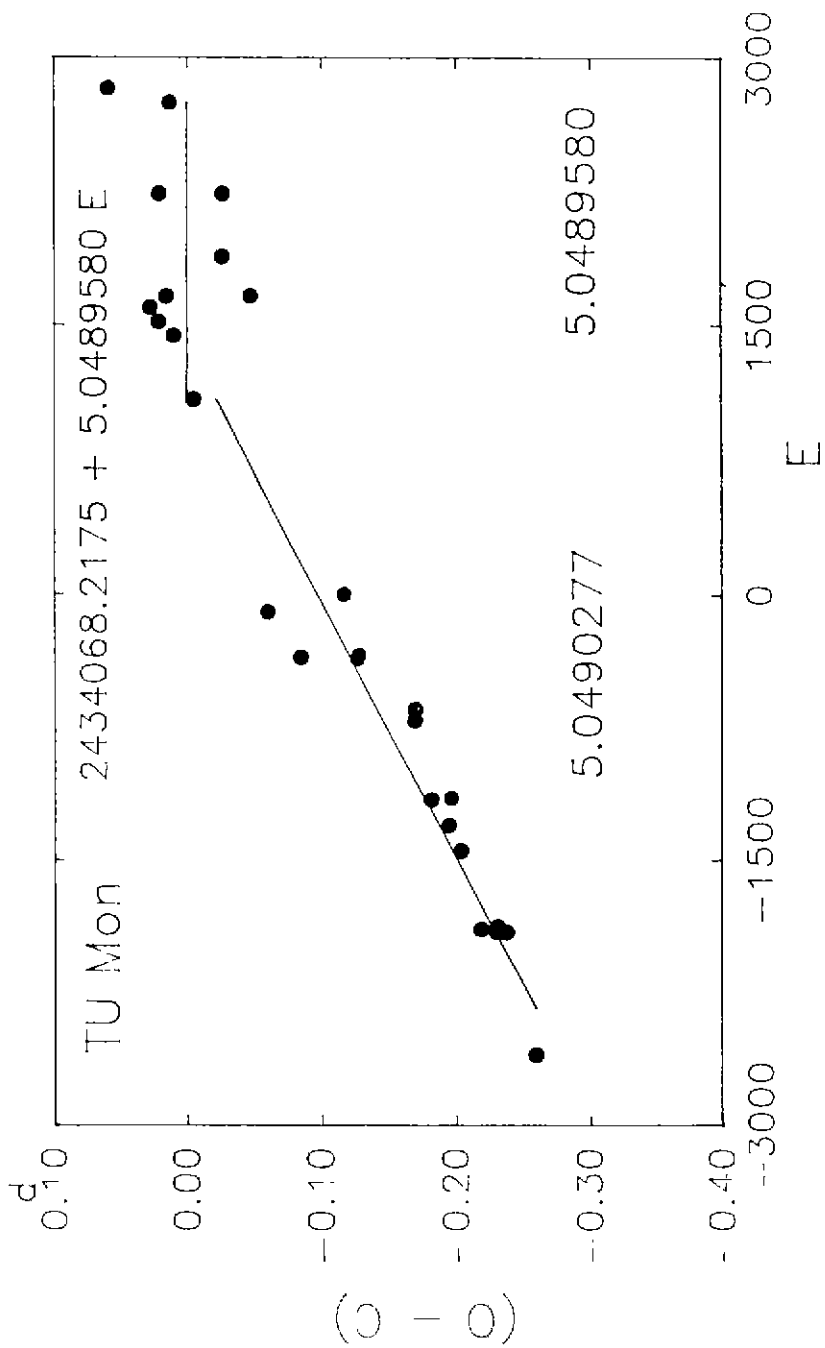


그림 14. TU Mon의 O-C도.

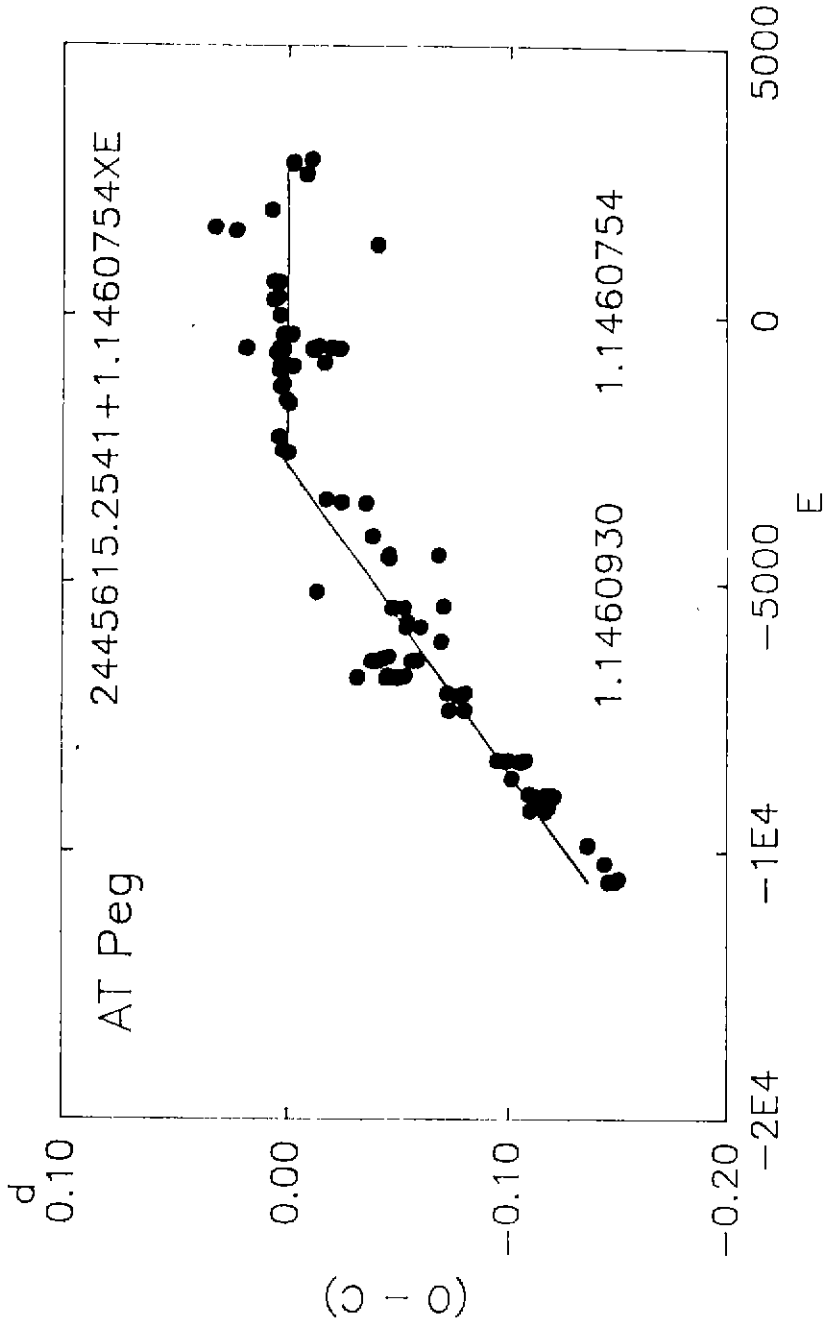


그림 15. AT Peg의 O-C 도.



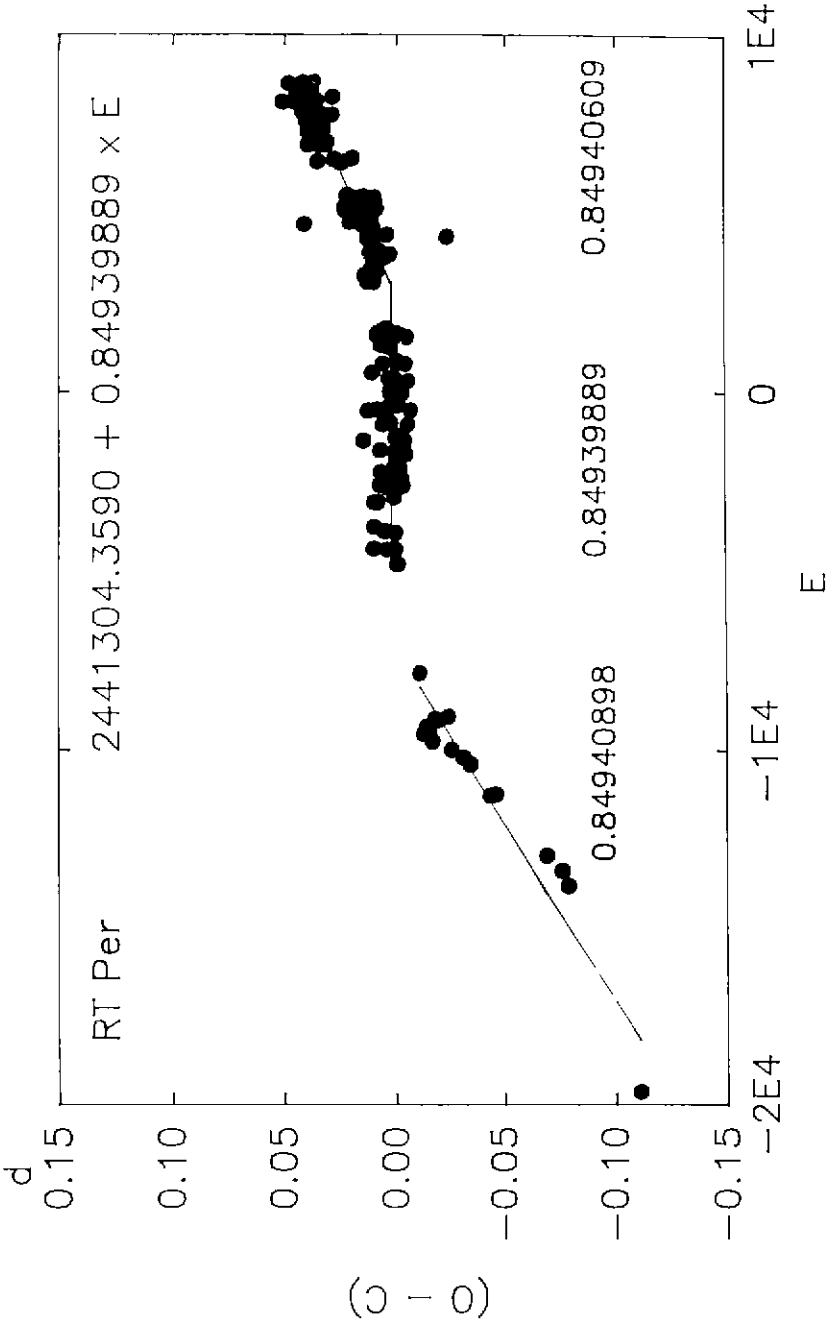


그림 16. RT Per의 O-C도.

## RW Per

Hall (1969)와 Majer (1984)가 RW Per의 극심시각의 대부분을 수집 분석한 이래 4점의 극심시각을 수집하였다. 표 1의 광도요소를 사용하여 58점의 수집된 극심시각으로 부터 RW Per의 주기 변화를 조사하였다.

RW Per의 주기 변화 (그림 17)는 두 번의 갑작스러운 주기 변화를 보이며 이러한 주기 변화를 3개의 일차 방정식의 광도요소로 나타낸다면 다음과 같다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2429217.7543 + 13.198938\ E \text{ for } E < -300$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2429127.5915 + 13.198437\ E \text{ for } -330 < E < 600$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2429217.3084 + 13.199011\ E \text{ for } 600 < E$$

이러한 광도요소로 부터 RW Per의  $O-C$  도로 부터  $E = -330$  근처에서의 주기 감소값은  $-0^d.000501$ 이며  $E = 600$  근처에서의 주기 증가값은  $+0^d.000474$ 로서 이들의 평균 주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.000488$ 이다. 한편, Majer (1984)과 van Hamme (1977)도 또한 3개의 일차 방정식의 광도요소로 나타내는 주기 변화를 주장하였다. 그러나 Majer는 그 주기 변화의 원인으로서 제 3체에 의한 광시간 효과일 것으로 주장하였다.

## RW Tau

RW Tau는 성간 원반에 의한 방출선이 나타나는 식쌍성으로서 잘 알려져 있으며, 지금까지 발표된 153점의 극심시각을 수집하고 표 1의 광도요소를 사용하여 공전주기 변화를 조사하였다.

그림 18의 RW Tau의  $O-C$  도에 따르면 각각  $E = -850$ 과  $E = 1500$  근처에서 갑작스러운 주기 변화를 보이며 따라서 다음과 같이 3개의 일차항으로 대표되는 광도요소를 얻었다.

$$\text{Min. } I = JD\ 2439916.6959 + 2.7688205\ E \text{ for } E < -850$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2439916.7192 + 2.7688508\ E \text{ for } -850 < E < 1500$$

$$\text{Min. } I = JD\ 2439916.8061 + 2.7687915\ E \text{ for } 1500 < E$$

이러한 광도요소로 부터 RW Tau의 공전주기 변화를 조사하여 보면,  $E = -850$  근처에서의 주기 증가량은  $+0^d.0000303$ 이며  $E = 1500$  근처에서의 주기 감소는  $-0^d.0000593$ 으로 나타났다. 그러므로 RW Tau의 평균 공전주기 변화량  $\Delta P$ 는  $0^d.0000448$ 이다.

## TX UMa

Oh and Chen (1984)에 의하여 거의 대부분의 극심시각이 수집 분석되었으며, 그 이후 7점의 극심시각이 수집되었다. 그런데, Oh and Chen과 Renz (1988)에 의한 TX UMa의 주기 변화에 대한 연구는 모두 1965년 근처에서 단 한번만의 주기 감소가 있는 것으로서 조사되었다. 이번 조사에서는 표1의 광도요소를 사용하여 주기 변화를 분석하였다.

TX UMa의  $O-C$  도 (그림 19)는 두 번의 갑작스러운 주기 변화를 보이며 다음과 같이 3개의 일차방정식으로 나타나는 광도요소로서 나타난다.

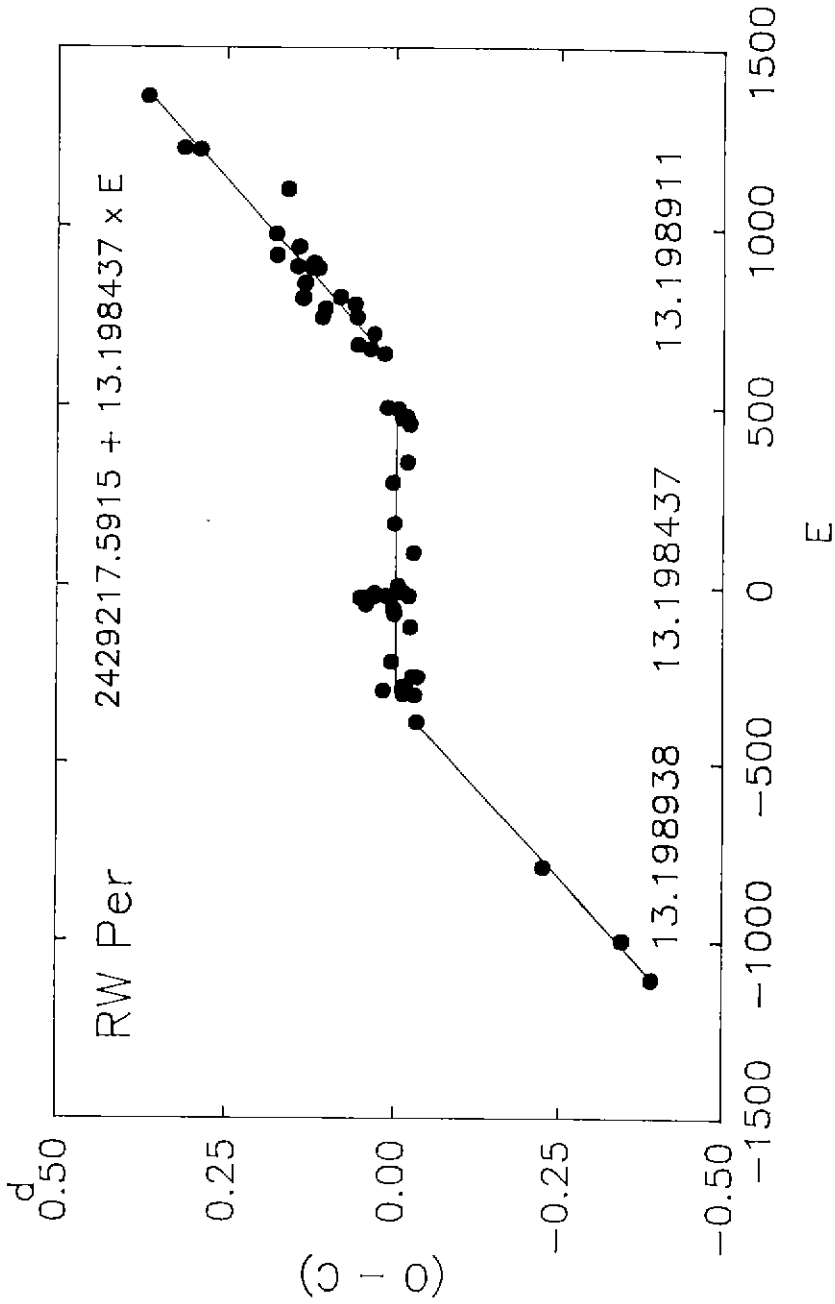


그림 17. RW Per와 O-C도.

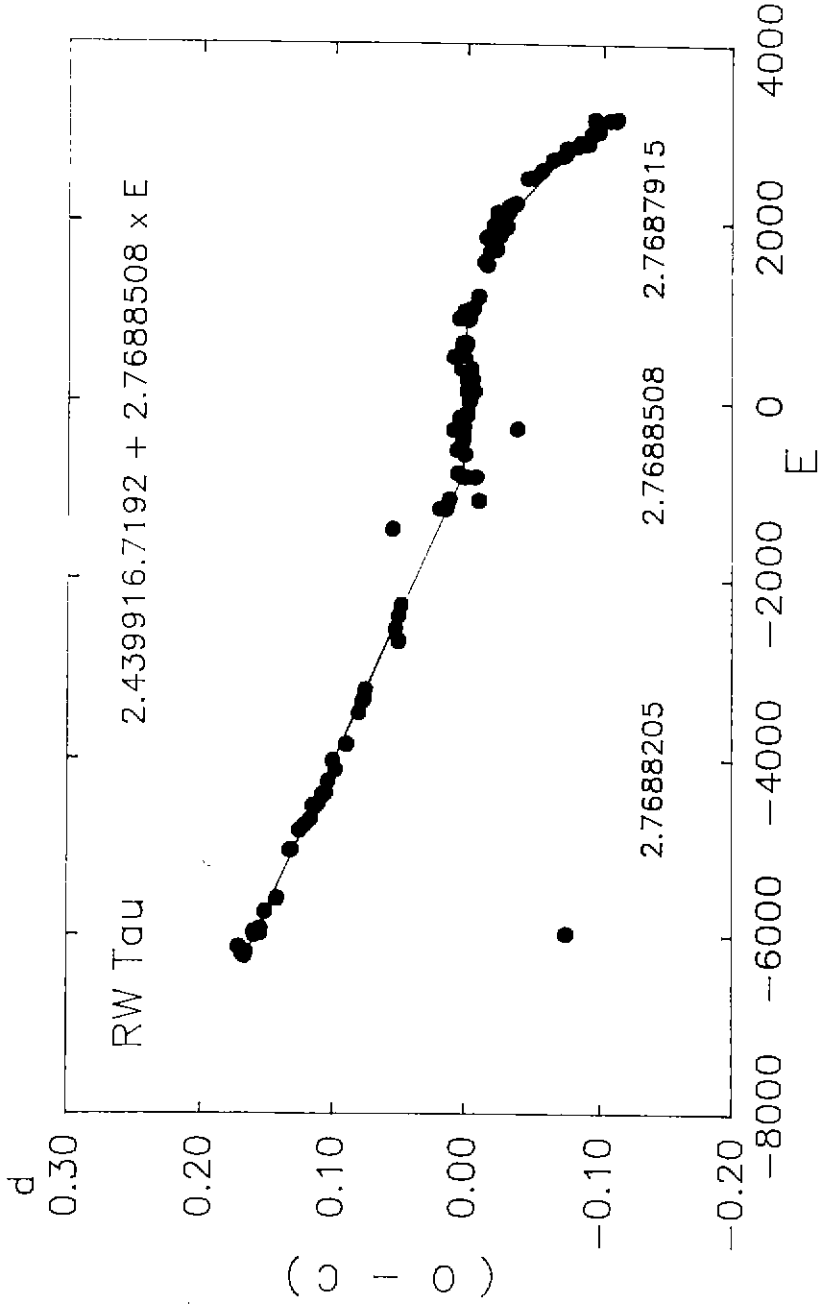


그림 18. RW Tau의 O-C 도.

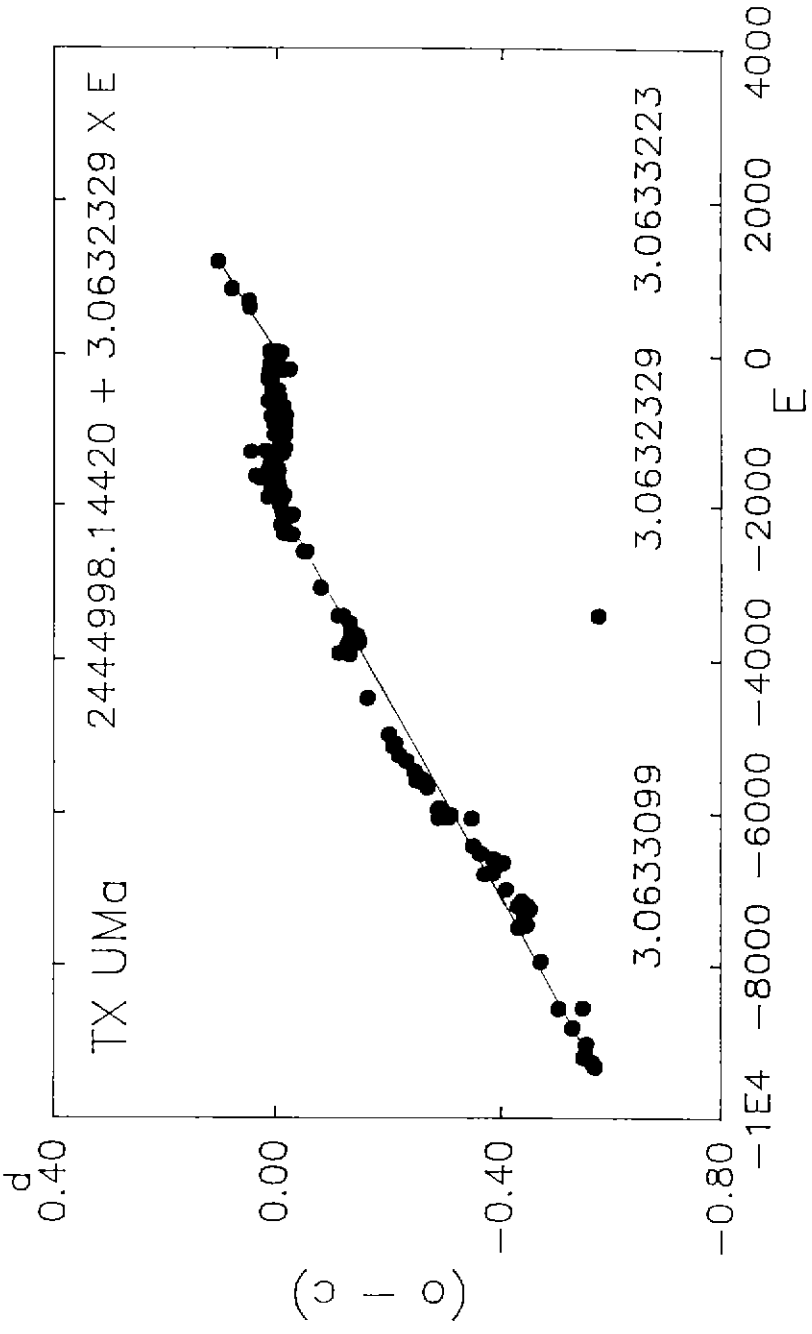


그림 19. TX UMa의 O-C도.

표 2. 19개의 식쌍성의 공전주기 변화량과 물리량.

Star		Log P	Log  ΔP	Log $\frac{ \Delta P }{P}$	Log M	Log ΔM	q	k	Log ΔR	Log L	Ref.
RT	AND	-0.201	-5.507	-5.306	.396	-.276	.65	.70	-.387	-.088	1
XZ	AND	0.133	-4.684	-4.817	.653	.279	.41	.923	-.699	.387	2
RX	CAS	1.510	-1.888	-3.398	.881	.602	.30	.106	1.322	1.170	3
SX	CAS	1.513	-2.506	-4.019	.820	.556	.30	.13	1.312	1.056	4
TW	CAS	0.155	-5.523	-5.678	.568	.146	.45	.74	-.155	.271	1
RS	CEP	1.094	-3.876	-4.970	.431	.079	.39	.31	.677	.327	1
XX	CEP	0.369	-4.620	-4.989	.373	.230	.16	.94	-.886	-.234	5
XY	CEP	0.443	-4.714	-5.157	.771	.544	.26	.84	-.222	.583	6
SW	CYG	0.660	-3.825	-4.485	.477	.230	.28	.60	.217	.186	1
Z	DRA	0.133	-4.663	-4.796	.314	.093	.25	.85	-.602	-.289	1
RX	GEM	1.086	-3.465	-4.551	.545	.360	.21	.667	.322	.369	1
TX	HER	0.314	-4.996	-5.310	.487	-.770	.90	.92	-.921	.251	1
T	LMI	0.480	-4.287	-4.767	.428	.305	.14	.79	-.260	-.152	1
TU	MON	0.703	-4.157	-4.860	1.004	.785	.25	.96	-.523	1.050	1
AT	PEG	0.059	-4.754	-4.813	.398	-.046	.47	.97	-1.301	-.038	1
RT	PER	-0.071	-5.063	-4.992	.207	-.004	.24	.90	-.921	-.546	1
RW	PER	1.121	-3.312	-4.433	.467	.316	.17	.636	.332	.191	1
RW	TAU	0.442	-4.349	-4.791	.574	.332	.27	.766	-.125	.270	1
TX	UMA	0.486	-4.080	-4.566	.681	.415	.30	.57	.255	.486	1

References:

- 1: Svechnikov and Bessonva (1984).
- 2: Giuricin *et al.* (1980).
- 3: Andersen *et al.* (1989).
- 4: Andersen *et al.* (1988).
- 5: Bonifazi and Guarnier (1986).
- 6: Giuricin and Mardirossian (1981).

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } I &= JD\ 2444998.29215 + 3.0633099\ E \quad \text{for} \quad E < -2000 \\
 \text{Min. } I &= JD\ 2444998.14420 + 3.0632329\ E \quad \text{for} \quad -2000 < E < 40 \\
 \text{Min. } I &= JD\ 2444998.14285 + 3.0633223\ E \quad \text{for} \quad 40 < E
 \end{aligned}$$

Oh and Chen은 TX UMa가 1965년 근처에서 주기가 감소하며 이때의 감소값으로서  $-0^d.0000747$ 로 발표하였다. 그러나 이들의 조사 이후 수집된 극심시각에 따른 주기 변화 (그림 19)를 분석하면 TX UMa의 주기 변화는 두 번의 갑작스러운 주기 변화를 나타내고 있다. 이러한 주기 변화에 따라  $E = -2000$  근처와  $E = 40$  근처에서의 주기 감소와 증가는 각각  $-0^d.0000770$ 과  $+0^d.0000894$ 이다. 이로 부터 TX UMa의 평균 주기 변화량 ΔP는  $0^d.0000832$ 로 얻었다.

### 3. 공전주기 변화량과 물리량과의 비교

표 2에 지금까지 분석한 19개의 EA형 준분리형 식쌍성의 공전주기 변화량과 여러가지 물리량을 조사 수록하였다. 표 1의 값들은 대부분 log 값으로 주어졌는데,  $P$ 는 공전주기를  $|\Delta P|$ 는 평균 주기 변화량,  $M$ 은 두 별의 질량의 합,  $\Delta M$ 은 두 별의 질량의 차,  $q$ 는 질량비 ( $m_2/m_1$ ),  $k$ 는 두 별의 반경비 ( $r_1/r_2$ ),  $\Delta R$ 은 두 별의 절대적인 반경의 차이이며,  $L$ 은 궤도 각운동량을 나타낸다. 그런데, 표 2의 각 식쌍성의 절대값들은 일관성을 갖기 위하여 Svechnikov and Bessonova (1986)의 "A Catalogue of Orbital Elements, Masses and Luminosities of Close Double Stars"로 부터 얻었으며, 이 목록에 수록되어 있지 않은 XZ And와 XY Cep 그리고 최근의 자료가 있는 RX Cas, SX Cas와 XX Cep는 새로운 참고문헌에서 얻었다. 한편, 표 2의 각각의 단위는 주기는 일수 (day), 질량은 태양 질량, 반경은 태양 반경으로 나타냈으며 따라서 궤도 각운동량  $L$ 도 이와같은 단위의 크기로서 계산되었다.

먼저 그림 20에 나타난 바와 같이 주기  $P$ 와 평균 주기 변화량  $\Delta P$ 와의 상관 관계를 조사하여 보았다. 그 결과 식쌍성의 주기와 주기 변화량은 다음과 같은 상관 관계를 보였다.

$$\log(|\Delta P|/P) = -5.19 + 1.75 \log P \quad (1)$$

그런데 이러한 상관 관계는 Prihod'ko (1961)와 Oh (1991)에 의해서도 조사된바 있으나, 이들의 조사는 여러형의 식쌍성을 모두 함께하여 조사 하였었다. 그러나 이들이 얻은 상관 관계는 이번에 얻은 식 (1)과 큰 차이를 보이지는 않았다. 한편, 식 (1)에서 나타난 바와 같이 공전주기와 주기 변화량과는 일차적인 상관 관계를 나타내므로 공전주기에 대한 공전주기 변화량  $|\Delta P|/P$ 과 함께 다른 여러 물리량과의 상관 관계를 조사 하였다.

그림 21과 그림 22에 나타난 바와 같이 주기 변화량과 각각 질량의 합 ( $M$ ) 및 궤도 각운동량 ( $L$ )과의 상관관계를 조사하였다. 그 결과 식쌍성의 주기 변화량이 두 별의 질량의 합 및 궤도 각운동량과 다소 미흡하지만 일차적인 상관 관계를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 즉, 두 별의 질량의 합이 크거나 또한 궤도 각운동량이 크면 클수록 주기의 변화량도 함께 큰 것을 알 수 있었다. 따라서, 그림 23에서와 같이 질량의 합과 궤도 각운동량과의 상관 관계도 조사하여 보았다. 그 결과 다음과 같은 상관 관계를 보였다.

$$\log L = -0.95 + 2.14 \log M \quad (2)$$

이러한 상관 관계는 Chaubey (1979)의 상관 관계식

$$\log L = -2.12 + 1.8 \log M \quad (3)$$

과 차이를 나타냈다. 이러한 차이는 적용된 단위가 다르기 때문에 직접적인 비교는 할수가 없으나 그림 23에서 보여준 바와 같이 질량의 합과 궤도 각운동량은 그 상관 관계가 매우 좋음을 알 수있다.

다음은 주기 변화량과 반경비  $k$  및 절대적 반경의 차이  $\Delta R$ 에 대하여 조사하였다. 그림 24와 그림 25에 보인 바와 같이 이들 사이에는 다음과 같은 일차적인 상관 관계를 보였다.

$$\log(|\Delta P|/P) = -3.89 - 1.30k \quad (4)$$

$$\log(|\Delta P|/P) = -4.71 + 0.47 \log \Delta R \quad (5)$$

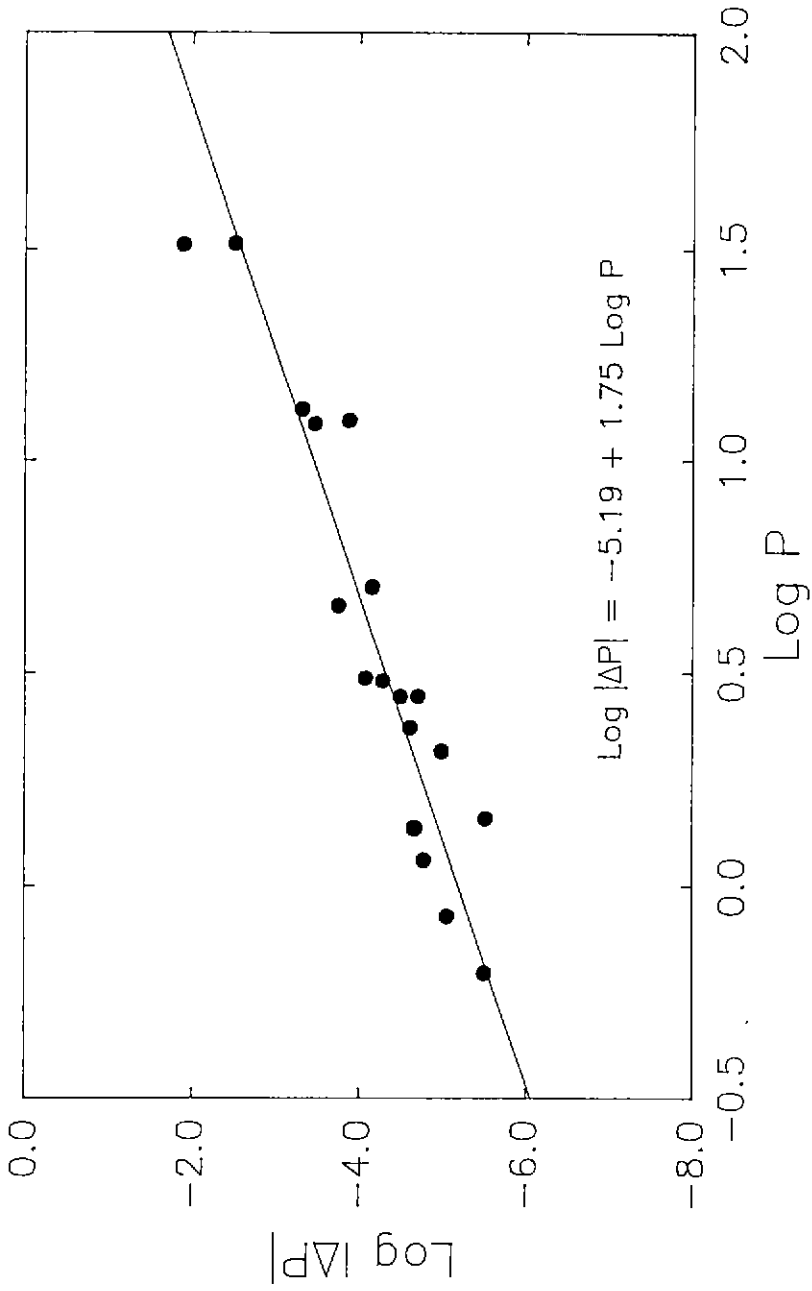


그림 20. 공진주기  $P$ 와 주기 변화량  $|\Delta P|$ 의 상관관계.



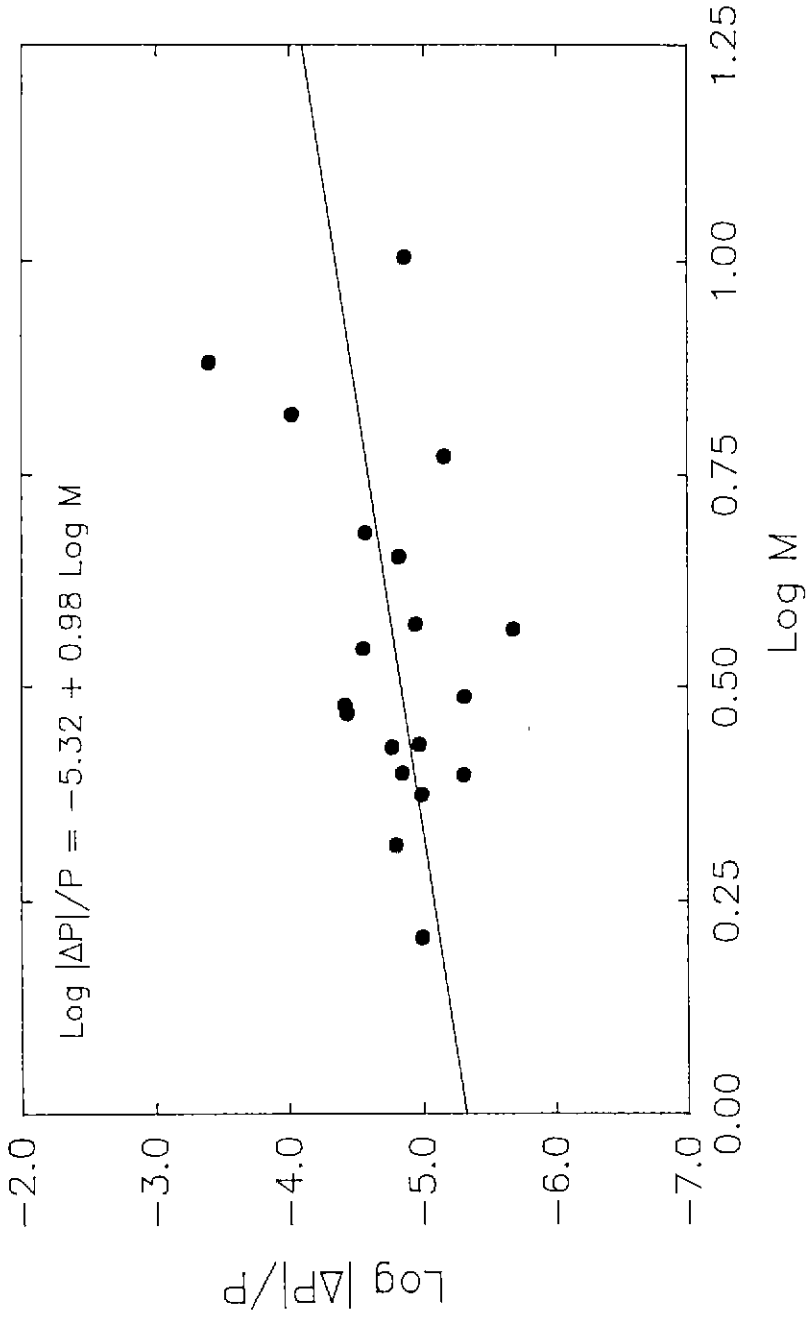


그림 21. 공전주기에 대한 주기 변화량  $|\Delta P|/P$ 와 질량의 함  $M$ 과의 상관관계.

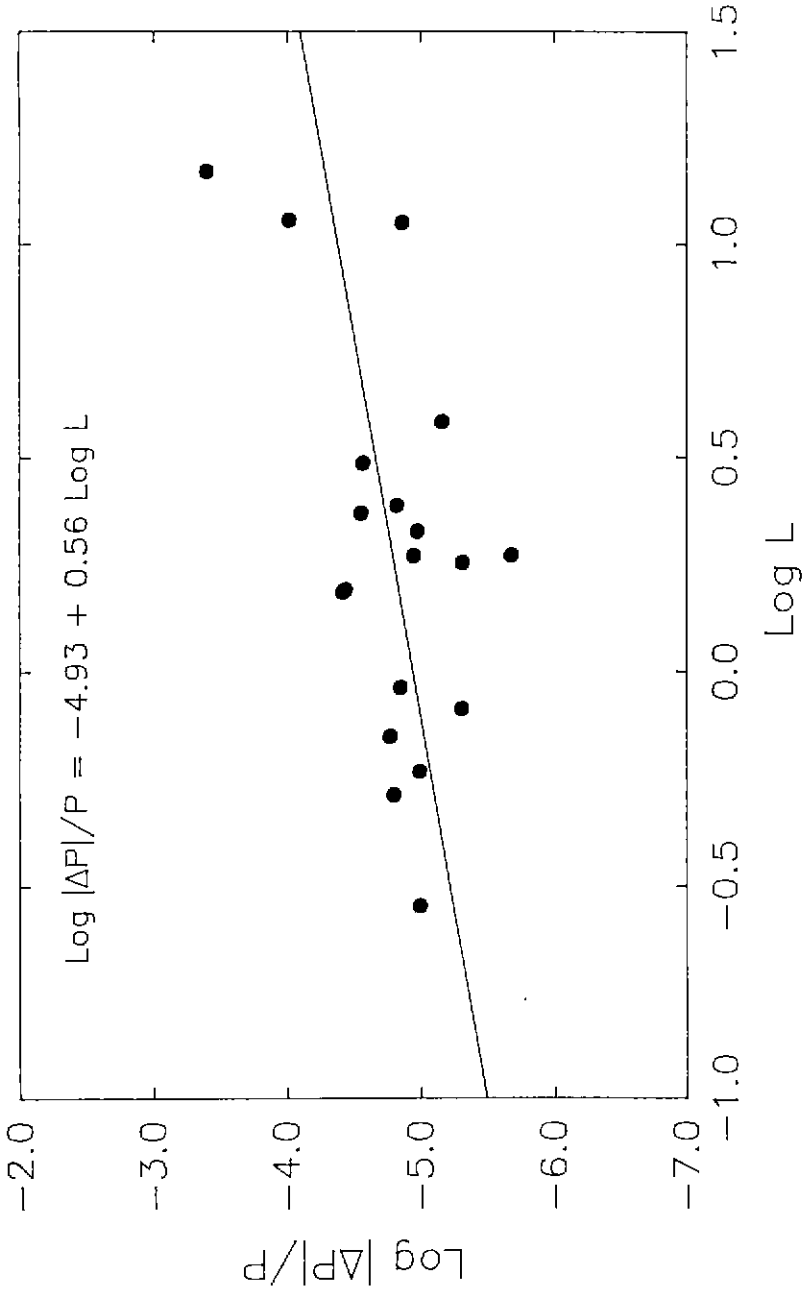


그림 22. 공전주기에 대한 주기 변화량  $|\Delta P|/P$ 와 궤도 각운동량  $L$ 의 상관관계.

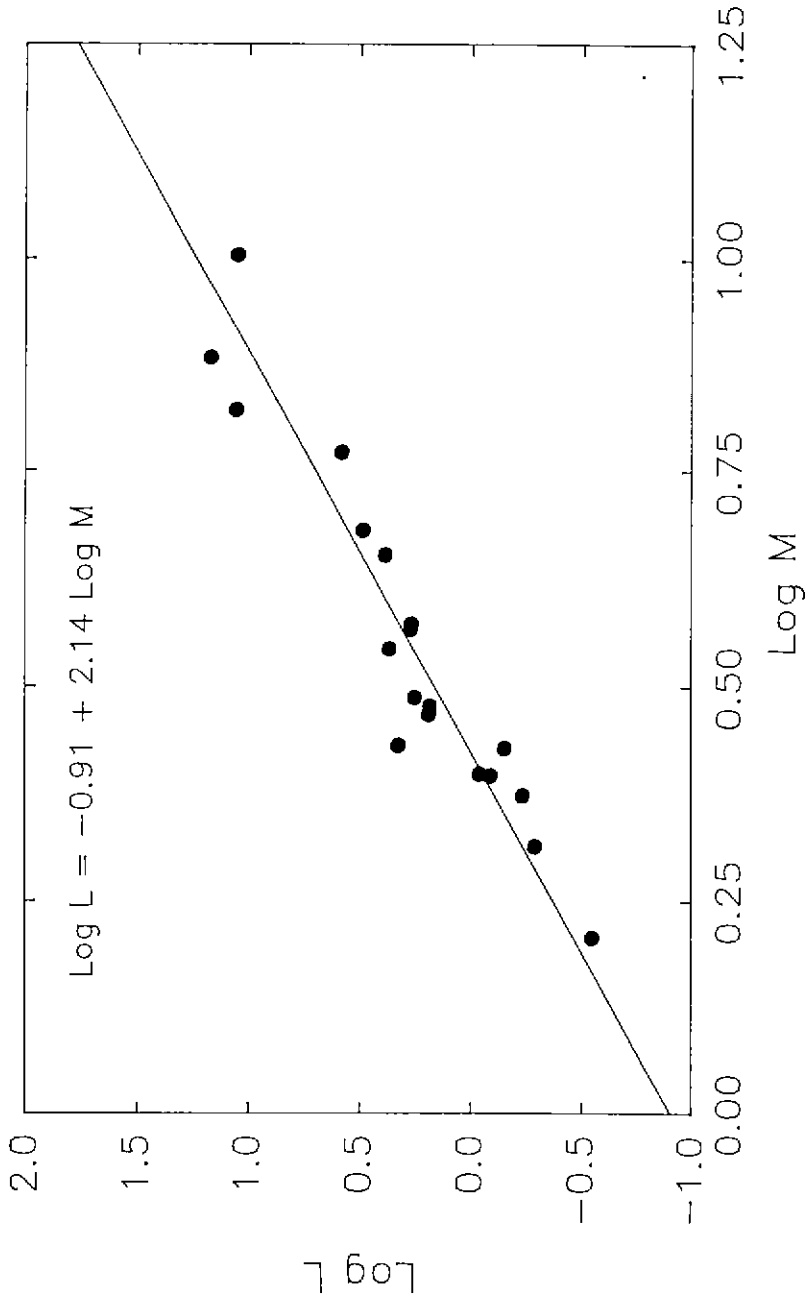


그림 23. 질량의 함  $M$  과 계도 각운동량  $L$ 의 상관관계.

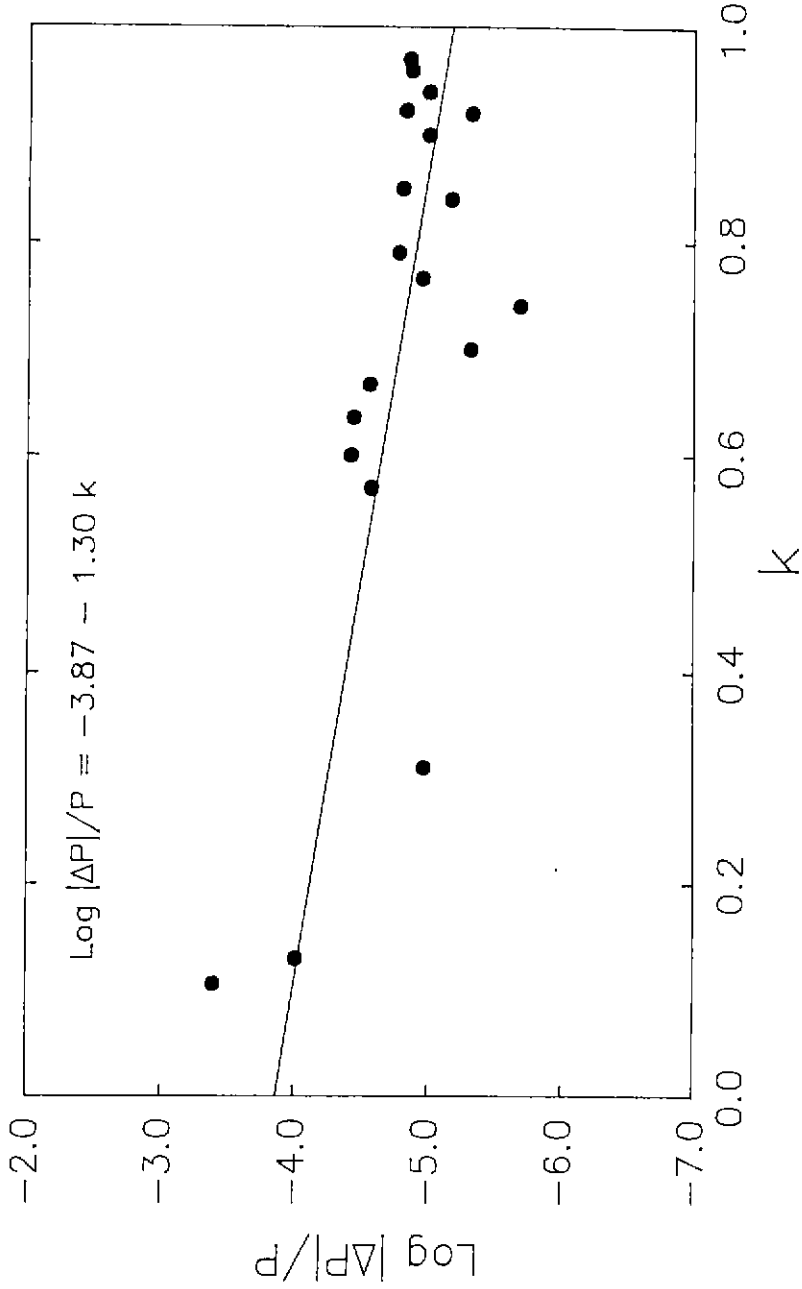


그림 24. 공진주기에 대한 주기 변화량  $|\Delta P|/P$ 와 반경비  $k$ 의 상관관계.

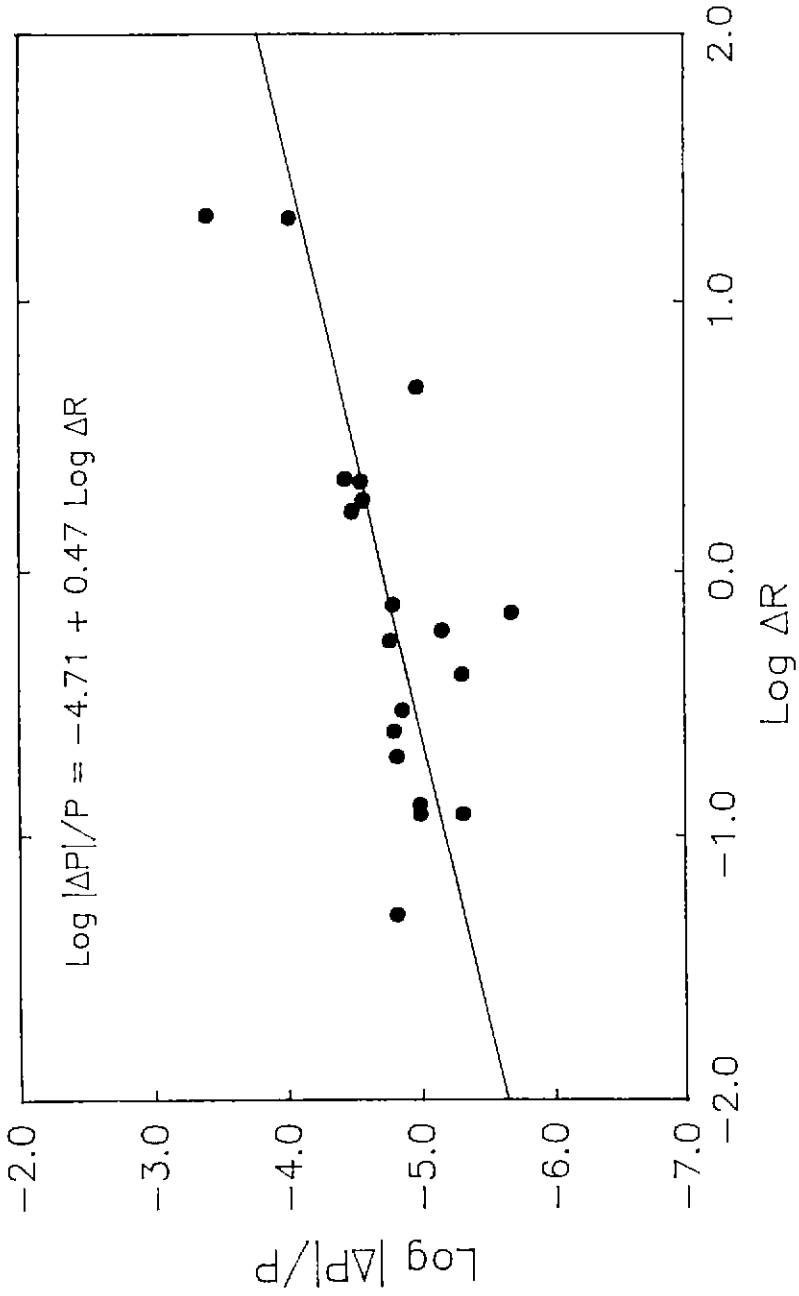


그림 25. 공진주기에 대한 주기 변화량  $|\Delta P|/P$ 와 절대 반경의 차  $\Delta R$ 의 상관관계.

식 (4)와 (5)에서 보인 바와 같이 두 별의 반경의 차이가 크면 클수록, 즉 반경비가 작으면 작을수록, 주기의 변화량이 큰 것을 알 수 있다.

이번에는 주기 변화량과 질량비  $q$  및 절대적 질량의 차이  $\Delta M$ 에 대하여 어떤 상관 관계를 나타내는가를 조사 하였다. 그 결과 그림 26과 그림 27에서와 같이 다음과 같은 상관 관계를 보였다.

$$\log(|\Delta P|/P) = -4.41 - 1.11q \quad (6)$$

$$\log(|\Delta P|/P) = -4.95 + 0.76 \log \Delta M \quad (7)$$

따라서, 식 (6)과 (7)의 질량에 따른 주기 변화에 대한 일차적인 상관 관계식은 두 별사이의 질량의 차이가 크면 클수록, 즉 질량비가 작으면 작을수록, 공전주기의 변화량이 크다는 것을 나타낸다.

지금까지 조사된 식쌍성의 공전주기 변화와 여러가지 물리량과의 상관 관계는 매우 뚜렷하지는 않지만 대체적으로 일차적인 상관 관계로 나타났다.

#### 4. 토의 및 결론

식쌍성의 공전주기는 여러가지의 궤도요소 가운데서도 가장 높은 정확도로 결정되는 궤도요소이며, 식쌍성에서 공전주기가 변화하는 것은 그 식쌍성의 진화에도 직접적인 관계를 갖고있다.

3장에서 살펴 본 바와 같이 EA 형으로 준분리형 식쌍성의 공전주기 변화량과 식쌍성의 여러가지 물리량과는 대체적인 상관 관계를 나타낼 수 있었다. 그러나 이러한 여러가지 상관 관계 가운데서도 (1)식과 (2)식에 나타난 바와 같이 식쌍성의 공전주기와 주기 변화량 그리고 주기 변화량과 궤도 각운동량과의 상관 관계는 매우 뚜렷하며, 그 외의 상관 관계는 다소 분명하지는 않았다. 그러나, 식 (4)과 (5)에서 나타난 바와 같이 식쌍성의 주기 변화량이 두 별사이의 크기와 어떤 상관 관계를 갖을 수 있다는 가능성을 제시한 것으로서 두 별 사이의 크기의 차이가 현저하면 현저 할수록 공전주기의 변화량이 크다는 것을 알 수 있다. 한편, 식쌍성의 주기 변화량과 두 별의 질량 사이의 상관 관계를 살펴보면, 식 (6)와 (7)에 나타난 바와 같이 두 별의 질량의 차이가 크면 클수록 공전주기의 변화량이 크다는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 두 별사이의 크기의 차이와 두 별 사이의 질량의 차이로 인한 주기의 변화량이 크게 나타나는 것은 Plavec (1970)와 Paczynski (1971)등에서 제시하고 있는 일반적인 식쌍성의 진화에 따른 질량교환의 가능성을 설명하여 줄 수 있는 관측적 증거로서 제시될 수 있을 것이다.

한편, 이번 연구에서는 한정된 식쌍성에 국한 되었으나 보다 많은 식쌍성을 택하여 공전주기 변화를 분석하므로써 공전주기 변화와 이러한 별의 물리량과의 상관 관계를 보다 분명하게 설명할 수 있을 것이라고 생각된다. 따라서 앞으로도 새로운 식쌍성과 극심시각을 첨가하여야 할 것이며 특별히 이번 연구에서 조사된 19개의 식쌍성 가운데서도 XZ And와 TX UMa의 공전주기 변화에 대해서는 극심시각의 관측과 더불어 주기 변화의 특성에 대한 분석이 새롭게 요구된다.

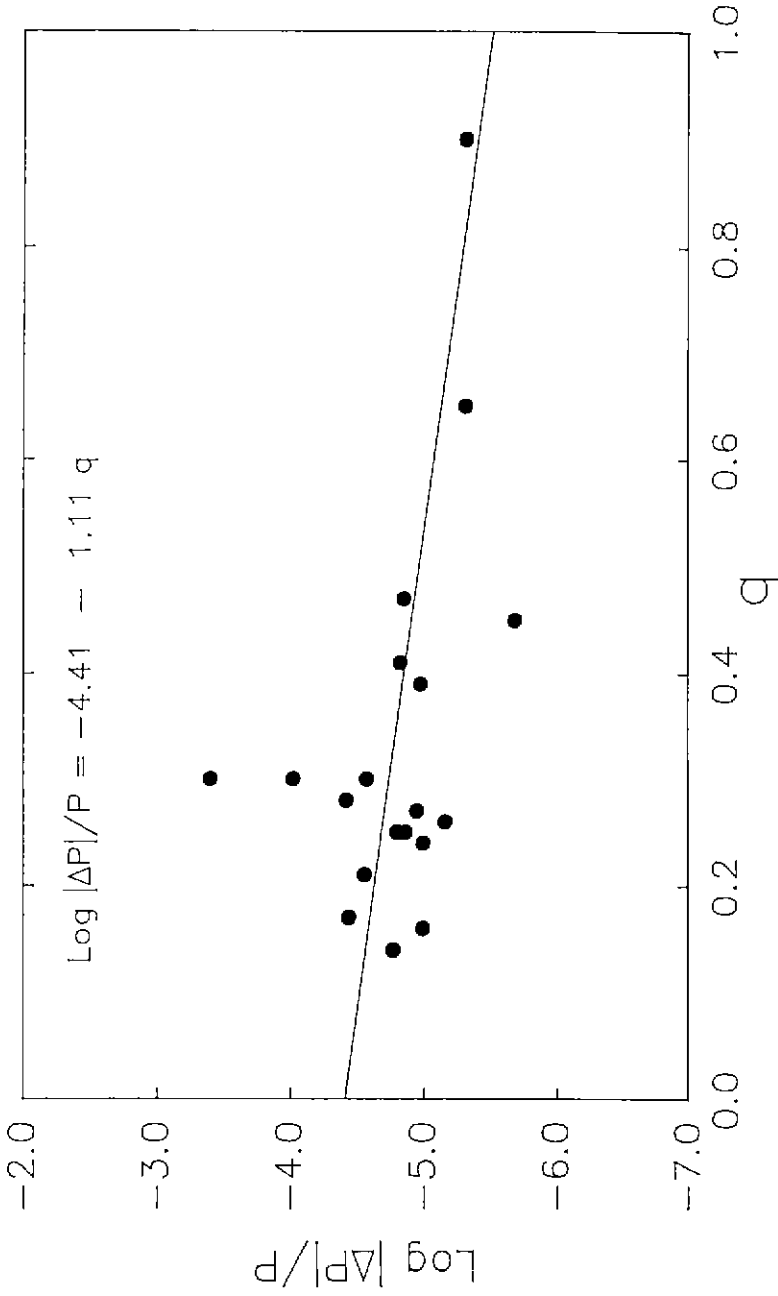


그림 26. 공전주기에 대한 주기 변화량  $|\Delta P|/P$ 와 질량비  $q$ 의 상관관계.

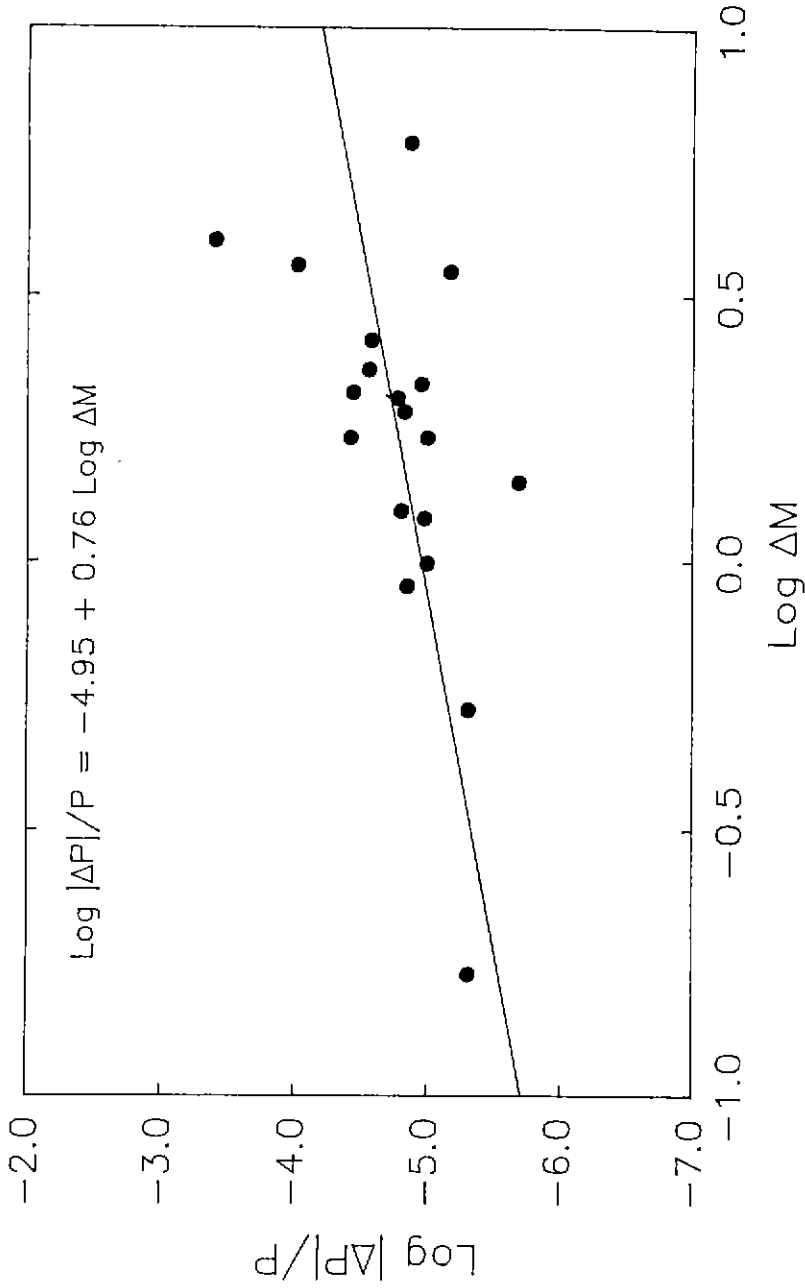


그림 27. 공진주기에 대한 주기 변화량  $|\Delta P|/P$ 와 절대 질량의 차  $\Delta M$ 의 상관관계.



## 참고 문헌

- 오규동 1987, 한국우주과학회지, 4, 69
- Andersen, J., Nordstrom, B., Mayor, M. & Polidan, R. S. 1988, *A&Ap*, 207, 37
- Andersen, J., Pavloski, K. & Piirola, V. 1989, *A&Ap*, 215, 272
- Applegate, J. H. 1989, *ApJ*, 337, 865
- Applegate, J. H. & Patterson, J. 1987, *ApJ*, 322, L99
- Battistini, P., Bonifazi, A. & Guarnieri, A. 1977, *IBVS*, No.1325
- Bonifazi, A & Guarnieri, A. 1986, *A&Ap*, 156, 38
- Chaubey, U. S. 1979, *Ap&SS*, 64, 177
- Dugan, R. S. & Wright, F. W. 1939, *Contri. Princeton Obs.*, No.19
- Friebos-Conde, H. & Herczeg, T. 1973, *A&ApS*, 12, 1
- Gaposchkin, S. 1944, *ApJ*, 100, 230
- Giuricin, G., Mardirossian, F. & predolin, F. 1980, *Acta.*, 30, 561
- Giuricin, G. & Mardirossian, F. 1981, *Ap&SS*, 76, 111
- Güdür, N., Sezer, C. & Gülmen, Ö. 1987, *IBVS*, No.2978
- Guinan, E. F. & Tomczyk, S. 1979, *IBVS*, No.1623
- Hall, D. S. 1974, *Acta.*, 24, 215
- Hall, D. S. 1969, in *Mass Loss from Stars*, ed. M. Hack(Dordrecht, Reidel), 171
- Hall, D. S. 1990, *Active Close Binaries*, ed. Ibanoglu, C., 95
- Hall, D. S., Cannon III, R. O. & Rhombs, A. G. 1973, *PASP*, 85, 420
- Hall, D. S. Quarles, T., Roberts, J. & Whelan, J. A. J. 1979, *Acta.*, 29, 653
- Hall, D. S. & Woolley, K. S. 1973, *PASP*, 85, 618
- Kandpal, C. D. 1975, *Ap&SS*, 32, 291
- Kim, H-I., Chun, Y-W. & Lee, Y-S. 1989, *Vistas in Astronomy*, 31, 343
- Koch, R. H. 1972, *AJ*, 77, 500
- Kopal, Z. 1956, *Ann. ApJ*, 19, 298
- Kopal, Z. 1959, *Close Binary System*(John Wiley & Sons Inc., N.Y.), Ch.VII.
- Kreiner, J. M. 1978, *IBVS*, No.1403
- Kreiner, J. M. & Tremko, J. 1988, *BAC*, 39, 73
- Kreiner, J. M. & Ziolkowski, J. Z. 1978, *Acta.*, 28, 497
- Kriz, S., Arsenijevic, J., Gryer, J., Harmanec, P., Horn, J., Koubsky, P., Pavlovski, K., Zverko, J. & Zdarsky, F. 1980, *BAC*, 31, 284
- Matese, J. J. & Whitmire, D. P. 1983, *A&Ap*, 117, L7
- Majer, P. 1984, *BAC*, 35, 180
- Martynov, D. Ya. 1950, *BAOE*, 27, 3
- McCook, G. P. 1971, *AJ*, 76, 449
- Nijland, A. A. 1924, *BAN*, 2, 125
- Oh, K-D. 1991, *Proc. ASA*, a, 289
- Oh, K-D. & Chen, K-Y. 1984, *AJ*, 89, 126
- Okazaki, A. 1977, *PASJ*, 29, 289
- Paczynski, B. 1970, in *Proceeding I.A.U. Colloquium*, No.6, 139

- Paczynski, B. 1971, *ARA&A*, 9, 183  
Payne-Gaposchkin, C. 1946, *ApJ*, 103, 291  
Plavec, M. 1970, *PASP*, 82, 957  
Prikhodako, A. E. 1961, *AZh*, 38, 927  
Rafert, J. B. 1977, Ph D. Thesis, Univ. of Florida, Florida, USA  
Rafert, J. B. 1981, *Pub. Obs. Appalachian State Univ.*, 1, 1  
Rafert, J. B. 1982, *PASP*, 94, 485  
Renz, W. 1988, *BAV Run.*, 37, 12  
Strupat, W. 1987, *A&Ap*, 185, 150  
Struve, O. 1944, *ApJ*, 99, 295  
Svechnikov, M. A. & Bessonova, L. A. 1986, *A Catalogue of Orbital Elements, Masses and Luminosities of Close Double Stars*, Irkutsk Univ. Press, Irkutsk  
van Buren, D. & Young, A. 1985, *ApJ*, 295, L39  
van Hamme, W. 1982, *A&Ap*, 107, 409  
Vetesnik, M. & Papousek, J. 1973, *BAC*, 24, 57  
Whitney, B. S. 1957, *AJ*, 62, 372  
Whitney, B. S. 1978, *IBVS*, No.1430  
Williamon, R. M. 1974, *PASP*, 86, 924  
Wood, F. B. 1950, *ApJ*, 112, 196