

## EB형 식쌍성 V388 CYG의 측광학적 연구<sup>1</sup>

오 규 동

전남대학교 지구과학교육과

김 호 일 · 이 우 백

한국표준과학연구원 천문대

### A PHOTOMETRIC STUDY OF EB-TYPE ECLIPSING BINARY V388 CYG

Kyu-Dong Oh

Department of Earth Science Education, Chonnam National University  
e-mail: ohkd@chonnam.chonnam.ac.kr

Ho-Il Kim and Woo-Baik Lee

Korea Astronomy Observatory, Taejeon, 305-348, Korea  
e-mail: hikim@hanul.issa.re.kr, wblee@hanul.issa.re.kr

(Received December 21, 1996; Accepted January 10, 1997)

#### 요 약

소백산 천문대의 61cm 망원경을 사용하여 1995년 10월 부터 12월 사이의 10일 동안 CCD 측광관 측에 의하여 EB형 식쌍성 V388 Cyg의 3색 ( $B, V&R$ )의 광도곡선을 얻었다. 새로운 3색의 광도곡선을 Wilson-Devinney model에 동시에 적용하여 이 별의 궤도요소를 얻었다. 그 결과 현재로서는 V388 Cyg이 접촉형인지 준분리형인지를 판단하지 못하였다. 한편, 지금까지 발표된 이 별의 극심 시각을 수집하여 주기변화를 조사하였으며, 그 결과 일정한 주기 감소를 나타내는  $-4.83 \times 10^{-10}$ 의 2차 함수를 포함하는 새로운 광도요소를 계산하였다.

#### ABSTRACT

New BVR CCD photometric observations of EB type close binary V388 Cyg were obtained at the Sobaeksan Astronomy Observatory during 10 nights from October to December 1995. We analyse new 3 color ( $B, V&R$ ) light curves simultaneously using the Wilson-Devinney code. Now, it is not yet clear whether V388 Cyg is contact or

<sup>1</sup>본 연구는 1995학년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 수행되었음.

semidetached system. Published epochs of times of minima to date were used to study the changes in period of the system, and calculated a new light elements with the secular tems,  $-4.83 \times 10^{-10}$ , which indicated the continuous decrease of the period.

## 1. 서 론

식쌍성 V388 Cyg (BD +30°4051, HD 332329)의 밝기가 변한다는 것이 Morgenroth (1935)에 의하여 밝혀진 이래 Kwiek (1936)에 의하여 처음으로 이 별의 광도요소가 알려졌다. 그 후 공전주기가  $P=0.8590$ 일인 V388 Cyg의 사진측광에 의한 광도곡선이 각각 Fedorovich (1948)과 Gaposchkin (1953)에 의하여 발표되었다. Whitney (1959)와 Oburka (1965)는 V388 Cyg의 광전측광에 의한 극심시각을 발표하고 Szafraniec (1961)의 안시관측에 의한 극심시각을 포함한 이 별의 새로운 광도요소를 발표하였다. 한편, 지금까지 이 별의 광전측광에 의한 완전한 광도곡선은 Cerruti-Sola et al. (1977)에 의하여 관측된 V 광도곡선만이 유일한 것으로서 이들은 Russell-Merrill 방법을 사용하여 이 별의 궤도요소를 발표하였다. 이들은 V388 Cyg의 주극심이 금환식이며, 부극심시각이 위상 0.5에서 약  $\phi = 0.003$ 정도 편이된 것으로부터 이별의 공전 궤도가 비록 작지만 이심율이 존재할 가능성에 대하여 언급하였다. 이후 Kreiner & Tremko (1986)는 V388 Cyg의 공전주기 변화를 조사하기 위하여 광전측광에 의한 주극심각 근처에서의 광도곡선을 발표하고 이 별의 주기변화를 재조사 하였다. 한편, Giuricin & Mardirossian (1981)과 Milano & Russo (1983)은 각각 Cerruti-Sola et al. (1977)의 V 광도곡선을 이용해 Wood 방법과 Wilson & Devinney (1971)방법을 적용하여 이 별의 새로운 궤도요소를 발표하였다. 이들의 결과에 따르면 Wood 방법을 적용한 Giuricin & Mardirossian (1981)는 이 별이 접촉형 식쌍성으로, Wilson & Devinney (1971) 방법을 적용한 Milano & Russo (1983)는 준분리형으로서 발표하고 있다. 그런데 이 별의 질량비를  $q=0.4$  (Giuricin & Mardirossian)로 가정하였을 때 Russell & Merrill 방법을 적용한 Cerruti-Sola et al. (1977)의 결과에 따른다면 이 별은 분리형으로 나타나고 있다. 한편, 주성의 분광형이 A3인 이 별의 시선속도곡선은 현재까지 발표된 바가 없다. 이러한 이유때문에 V388 Cyg에 대한 여러 파장 영역의 새로운 측광 관측에 의한 광도곡선이 요구되며, 이에 따라 이번 연구에서는 3색(B, V&R)의 CCD 측광에 의한 새로운 광도곡선 관측과 함께 최근 개정한 Wilson (1979, 1992) 모델을 적용하여 잠정적인 이 별의 궤도요소를 구하였다.

## 2. CCD 측광관측

V388 Cyg의 3색 (B, V&R) 측광 관측은 CCD용 표준 Johnson system과 액체질소로 냉각된 PM512 CCD 카메라를 소백산 천문대의 61cm 반사망원경에 부착하여 수행하였다. 관측은 소백산 천문대의 차등측광용 프로그램인 DIPHO를 사용하여 1995년 10월부터 12월까지 10일간 이루어 졌으며, 각각 B 필터에서 138점, V 필터에서 136점 그리고 R 필터에서 128점의 관측점을 얻었다. 표 1은 관측된 3색 (B, V&R) CCD 측광 관측 결과로서 전 위상에 대해 완전한 광도곡선을 얻지는 못하였다. 관측에

표 1. V388 Cyg의 관측점.

| Hel JD<br>2400000.+ | $\Delta m(B)$ | Hel JD<br>2400000.+ | $\Delta m(B)$ | Hel JD<br>2400000.+ | $\Delta m(V)$ | Hel JD<br>2400000.+ | $\Delta m(V)$ | Hel JD<br>2400000.+ | $\Delta m(R)$ | Hel JD<br>2400000.+ | $\Delta m(R)$ |
|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|
| 50000.9798          | -0.053        | 50008.1525          | -0.071        | 50000.9880          | 0.031         | 50008.1428          | 0.228         | 50002.9426          | 0.308         | 50025.8927          | 0.123         |
| 50000.9863          | -0.055        | 50008.1623          | -0.137        | 50000.9916          | 0.041         | 50008.1529          | 0.110         | 50002.9690          | 0.304         | 50025.8951          | 0.121         |
| 50000.9899          | -0.076        | 50008.1706          | -0.172        | 50000.9988          | 0.055         | 50008.1608          | 0.106         | 50002.9737          | 0.324         | 50025.8964          | 0.116         |
| 50001.0124          | -0.080        | 50008.1763          | -0.190        | 50001.0363          | 0.017         | 50008.1780          | 0.010         | 50002.9875          | 0.250         | 50025.8988          | 0.114         |
| 50001.0206          | -0.033        | 50025.8869          | -0.085        | 50001.0410          | 0.065         | 50025.8873          | 0.043         | 50003.0683          | 0.170         | 50025.9001          | 0.110         |
| 50001.0250          | -0.082        | 50025.8881          | -0.074        | 50002.9422          | 0.223         | 50025.8886          | 0.047         | 50003.0892          | 0.199         | 50025.9026          | 0.111         |
| 50001.0341          | -0.042        | 50025.8906          | -0.076        | 50002.9461          | 0.225         | 50025.8910          | 0.051         | 50003.0939          | 0.206         | 50025.9038          | 0.123         |
| 50002.9290          | 0.163         | 50025.8919          | -0.061        | 50002.9685          | 0.231         | 50025.8923          | 0.046         | 50003.1077          | 0.087         | 50025.9063          | 0.121         |
| 50002.9418          | 0.127         | 50025.8944          | -0.081        | 50002.9728          | 0.234         | 50025.8948          | 0.047         | 50003.1163          | 0.106         | 50025.9075          | 0.117         |
| 50002.9680          | 0.092         | 50025.8956          | -0.076        | 50002.9846          | 0.195         | 50025.8960          | 0.043         | 50003.1214          | 0.127         | 50025.9100          | 0.116         |
| 50002.9718          | 0.106         | 50025.8981          | -0.073        | 50003.0672          | 0.093         | 50025.8985          | 0.043         | 50003.1356          | 0.118         | 50025.9113          | 0.119         |
| 50002.9817          | 0.094         | 50025.8993          | -0.084        | 50003.0888          | 0.102         | 50025.8997          | 0.040         | 50003.1611          | 0.108         | 50025.9137          | 0.117         |
| 50003.0661          | -0.018        | 50025.9018          | -0.084        | 50003.1204          | 0.062         | 50025.9022          | 0.040         | 50003.1669          | 0.119         | 50025.9150          | 0.111         |
| 50003.0883          | -0.025        | 50025.9030          | -0.079        | 50003.1327          | 0.043         | 50025.9034          | 0.048         | 50003.2086          | 0.190         | 50025.9175          | 0.123         |
| 50003.1153          | -0.074        | 50025.9055          | -0.087        | 50003.1605          | 0.053         | 50025.9059          | 0.051         | 50003.2232          | 0.193         | 50025.9187          | 0.124         |
| 50003.1194          | -0.030        | 50025.9068          | -0.090        | 50003.1658          | 0.049         | 50025.9072          | 0.042         | 50003.9113          | 0.173         | 50025.9212          | 0.135         |
| 50003.1297          | -0.062        | 50025.9092          | -0.078        | 50003.2075          | 0.096         | 50025.9096          | 0.058         | 50003.9244          | 0.154         | 50025.9224          | 0.140         |
| 50003.1598          | -0.050        | 50025.9105          | -0.086        | 50003.9105          | 0.112         | 50025.9109          | 0.042         | 50003.9335          | 0.165         | 50025.9249          | 0.139         |
| 50003.1647          | -0.069        | 50025.9130          | -0.077        | 50003.9216          | 0.096         | 50025.9134          | 0.040         | 50003.9404          | 0.149         | 50025.9261          | 0.138         |
| 50003.9096          | -0.011        | 50025.9142          | -0.089        | 50003.9330          | 0.075         | 50025.9146          | 0.053         | 50003.9467          | 0.150         | 50025.9286          | 0.127         |
| 50003.9188          | -0.038        | 50025.9167          | -0.066        | 50003.9389          | 0.064         | 50025.9171          | 0.066         | 50003.9536          | 0.146         | 50025.9299          | 0.127         |
| 50003.9325          | -0.034        | 50025.9179          | -0.076        | 50003.9462          | 0.069         | 50025.9183          | 0.047         | 50003.9807          | 0.128         | 50025.9323          | 0.134         |
| 50003.9374          | -0.044        | 50025.9204          | -0.070        | 50003.9522          | 0.064         | 50025.9208          | 0.055         | 50003.9995          | 0.119         | 50025.9336          | 0.141         |
| 50003.9457          | -0.056        | 50025.9217          | -0.055        | 50003.9754          | 0.034         | 50025.9221          | 0.063         | 50004.0064          | 0.132         | 50025.9363          | 0.139         |
| 50003.9507          | -0.074        | 50025.9241          | -0.072        | 50003.9990          | 0.052         | 50025.9245          | 0.055         | 50004.0309          | 0.143         | 50025.9376          | 0.135         |
| 50003.9985          | -0.067        | 50025.9254          | -0.077        | 50004.0049          | 0.047         | 50025.9258          | 0.060         | 50004.0424          | 0.156         | 50025.9401          | 0.149         |
| 50004.0034          | -0.072        | 50025.9279          | -0.058        | 50004.0256          | 0.051         | 50025.9283          | 0.055         | 50004.0497          | 0.159         | 50025.9413          | 0.142         |
| 50004.0202          | -0.069        | 50025.9291          | -0.070        | 50004.0419          | 0.083         | 50025.9295          | 0.049         | 50004.0642          | 0.195         | 50025.9438          | 0.134         |
| 50004.0413          | -0.037        | 50025.9316          | -0.046        | 50004.0482          | 0.091         | 50025.9320          | 0.062         | 50004.0686          | 0.190         | 50025.9450          | 0.138         |
| 50004.0466          | -0.039        | 50025.9328          | -0.074        | 50004.0639          | 0.112         | 50025.9332          | 0.062         | 50004.0817          | 0.200         | 50025.9475          | 0.151         |
| 50004.0634          | -0.011        | 50025.9356          | -0.077        | 50004.0677          | 0.114         | 50025.9360          | 0.050         | 50004.0908          | 0.220         | 50025.9487          | 0.146         |
| 50004.0668          | 0.019         | 50025.9368          | -0.065        | 50004.0789          | 0.140         | 50025.9372          | 0.045         | 50004.0981          | 0.237         | 50025.9512          | 0.148         |
| 50004.0760          | 0.022         | 50025.9393          | -0.032        | 50004.0903          | 0.145         | 50025.9397          | 0.069         | 50004.1023          | 0.255         | 50025.9525          | 0.142         |
| 50004.0897          | 0.027         | 50025.9405          | -0.053        | 50004.1019          | 0.183         | 50025.9409          | 0.074         | 50004.1066          | 0.261         | 50025.9549          | 0.140         |
| 50004.1015          | 0.047         | 50025.9430          | -0.047        | 50004.1058          | 0.199         | 50025.9434          | 0.073         | 50004.1259          | 0.342         | 50025.9562          | 0.143         |
| 50004.1049          | 0.084         | 50025.9443          | -0.046        | 50004.1254          | 0.269         | 50025.9447          | 0.067         | 50004.1627          | 0.557         | 50025.9587          | 0.150         |
| 50004.1248          | 0.169         | 50025.9467          | -0.041        | 50004.1317          | 0.291         | 50025.9471          | 0.075         | 50004.1812          | 0.677         | 50025.9599          | 0.151         |
| 50004.1301          | 0.183         | 50025.9480          | -0.059        | 50004.1618          | 0.491         | 50025.9484          | 0.072         | 50004.1889          | 0.728         | 50025.9624          | 0.151         |
| 50004.1608          | 0.390         | 50025.9505          | -0.063        | 50004.1806          | 0.611         | 50025.9509          | 0.066         | 50004.1937          | 0.724         | 50025.9636          | 0.144         |
| 50004.1800          | 0.440         | 50025.9517          | -0.037        | 50004.1873          | 0.654         | 50025.9521          | 0.066         | 50004.2070          | 0.731         | 50025.9661          | 0.155         |
| 50004.1857          | 0.585         | 50025.9542          | -0.039        | 50004.1931          | 0.669         | 50025.9546          | 0.069         | 50004.2200          | 0.688         | 50025.9673          | 0.154         |
| 50004.1924          | 0.608         | 50025.9554          | -0.045        | 50004.2064          | 0.682         | 50025.9558          | 0.064         | 50007.9159          | 0.150         | 50025.9698          | 0.162         |
| 50004.2057          | 0.647         | 50025.9579          | -0.027        | 50004.2194          | 0.633         | 50025.9583          | 0.081         | 50007.9212          | 0.157         | 50025.9711          | 0.165         |
| 50004.2186          | 0.640         | 50025.9591          | -0.026        | 50007.9145          | 0.063         | 50025.9596          | 0.087         | 50007.9227          | 0.151         | 50025.9736          | 0.155         |
| 50007.9130          | -0.062        | 50025.9616          | -0.043        | 50007.9209          | 0.085         | 50025.9620          | 0.086         | 50007.9295          | 0.153         | 50025.9748          | 0.151         |
| 50007.9205          | -0.034        | 50025.9629          | -0.029        | 50007.9222          | 0.080         | 50025.9633          | 0.077         | 50007.9342          | 0.154         | 50025.9773          | 0.154         |
| 50007.9217          | -0.036        | 50025.9653          | -0.024        | 50007.9281          | 0.086         | 50025.9658          | 0.089         | 50007.9357          | 0.159         | 50026.0941          | 0.356         |
| 50007.9266          | -0.033        | 50025.9666          | -0.032        | 50007.9339          | 0.084         | 50025.9670          | 0.079         | 50007.9425          | 0.158         | 50026.0973          | 0.361         |
| 50007.9335          | -0.022        | 50025.9691          | -0.023        | 50007.9352          | 0.089         | 50025.9695          | 0.086         | 50007.9480          | 0.170         | 50026.1006          | 0.359         |
| 50007.9347          | -0.030        | 50025.9703          | -0.027        | 50007.9411          | 0.091         | 50025.9707          | 0.086         | 50007.9549          | 0.173         | 50026.1038          | 0.372         |
| 50007.9396          | -0.007        | 50025.9728          | -0.004        | 50007.9462          | 0.124         | 50025.9732          | 0.088         | 50008.0850          | 0.351         | 50026.1071          | 0.355         |
| 50007.9459          | 0.015         | 50025.9740          | -0.019        | 50007.9476          | 0.082         | 50025.9744          | 0.080         | 50008.0920          | 0.370         | 50026.1104          | 0.379         |
| 50007.9471          | 0.016         | 50025.9765          | 0.004         | 50007.9535          | 0.118         | 50025.9769          | 0.064         | 50008.0960          | 0.360         | 50026.1136          | 0.359         |
| 50007.9520          | -0.034        | 50026.0930          | 0.148         | 50007.9656          | 0.116         | 50026.0936          | 0.276         | 50008.1036          | 0.345         | 50026.1169          | 0.366         |
| 50007.9581          | 0.052         | 50026.0963          | 0.171         | 50007.9701          | 0.110         | 50026.0969          | 0.295         | 50008.1051          | 0.347         | 50026.1202          | 0.359         |
| 50007.9592          | 0.016         | 50026.0995          | 0.155         | 50008.0679          | 0.284         | 50026.1001          | 0.275         | 50008.1120          | 0.333         | 50026.1235          | 0.355         |
| 50007.9641          | 0.030         | 50026.1028          | 0.146         | 50008.0703          | 0.276         | 50026.1033          | 0.281         | 50008.1151          | 0.347         | 50026.1268          | 0.335         |
| 50008.0832          | 0.147         | 50026.1060          | 0.165         | 50008.0841          | 0.276         | 50026.1066          | 0.282         | 50008.1168          | 0.350         | 50026.1300          | 0.354         |
| 50008.0913          | 0.177         | 50026.1093          | 0.180         | 50008.0917          | 0.275         | 50026.1099          | 0.304         | 50008.1241          | 0.311         | 50026.1528          | 0.332         |
| 50008.0943          | 0.148         | 50026.1126          | 0.129         | 50008.0952          | 0.265         | 50026.1132          | 0.278         | 50008.1276          | 0.317         |                     |               |
| 50008.1029          | 0.139         | 50026.1159          | 0.162         | 50008.1033          | 0.269         | 50026.1164          | 0.293         | 50008.1293          | 0.306         |                     |               |
| 50008.1041          | 0.136         | 50026.1192          | 0.153         | 50008.1047          | 0.264         | 50026.1197          | 0.270         | 50008.1365          | 0.276         |                     |               |
| 50008.1091          | 0.132         | 50026.1224          | 0.172         | 50008.1106          | 0.246         | 50026.1230          | 0.289         | 50008.1434          | 0.297         |                     |               |
| 50008.1143          | 0.151         | 50026.1257          | 0.167         | 50008.1147          | 0.252         | 50026.1263          | 0.284         | 50008.1533          | 0.176         |                     |               |
| 50008.1156          | 0.151         | 50026.1290          | 0.157         | 50008.1162          | 0.252         | 50026.1296          | 0.278         | 50008.1614          | 0.143         |                     |               |
| 50008.1210          | 0.128         | 50026.1323          | 0.176         | 50008.1226          | 0.244         | 50026.1328          | 0.274         | 50008.1795          | 0.103         |                     |               |
| 50008.1268          | 0.124         | 50026.1355          | 0.157         | 50008.1272          | 0.248         | 50026.1523          | 0.279         | 50025.8877          | 0.125         |                     |               |
| 50008.1281          | 0.117         | 50026.1388          | 0.179         | 50008.1287          | 0.228         |                     |               | 50025.8889          | 0.117         |                     |               |
| 50008.1335          | 0.103         | 50026.1421          | 0.168         | 50008.1350          | 0.211         |                     |               | 50025.8914          | 0.130         |                     |               |

표 2. V388 Cyg의 극심시각.

| No | JD Hel.      | E        | (O - C) <sub>1</sub> | (O - C) <sub>2</sub> | Type | Method | Reference                         |
|----|--------------|----------|----------------------|----------------------|------|--------|-----------------------------------|
| 1  | 2427624.4520 | -16680.0 | -.1448               | .0044                | I    | pg     | Morgenroth(1935)                  |
| 2  | 2427710.3560 | -16580.0 | -.1445               | .0030                | I    | pg     | Morgenroth(1935)                  |
| 3  | 2428070.2830 | -16161.0 | -.1541               | -.0137               | I    | pg     | Fedorovich(1948)                  |
| 4  | 2428070.3020 | -16161.0 | -.1351               | .0053                | I    | vi     | Piegza(1937)                      |
| 5  | 2428351.2220 | -15834.0 | -.1203               | .0147                | I    | pg     | Gaposchkin(1953)                  |
| 6  | 2428404.4640 | -15772.0 | -.1386               | -.0046               | I    | vi     | Kwiek(1936)                       |
| 7  | 2428428.5300 | -15744.0 | -.1256               | .0079                | I    | vi     | Piegza(1938)*                     |
| 8  | 2430532.3300 | -13295.0 | -.1077               | -.0112               | I    | pg     | Soloviev(1944)                    |
| 9  | 2430898.2870 | -12869.0 | -.1006               | -.0099               | I    | pg     | Soloviev(1944)                    |
| 10 | 2432296.8270 | -11241.0 | -.0731               | -.0032               | I    | pg     | Whitney(1959)                     |
| 11 | 2432821.7100 | -10630.0 | -.0619               | .0009                | I    | pg     | Whitney(1959)                     |
| 12 | 2433218.5780 | -10168.0 | -.0691               | -.0114               | I    | pg     | Whitney(1959)                     |
| 13 | 2433483.1650 | -9860.0  | -.0655               | -.0112               | I    | pg     | Kaho(1952)                        |
| 14 | 2433584.5420 | -9742.0  | -.0549               | -.0018               | I    | pg     | Whitney(1959)                     |
| 15 | 2433919.5760 | -9352.0  | -.0454               | .0036                | I    | pg     | Whitney(1959)                     |
| 16 | 2434223.6670 | -8998.0  | -.0536               | -.0081               | I    | pg     | Whitney(1959)                     |
| 17 | 2435089.5970 | -7990.0  | -.0331               | .0031                | I    | pg     | Whitney(1959)                     |
| 18 | 2436821.4300 | -5974.0  | -.0191               | .0012                | I    | pg     | Busch(1964)                       |
| 19 | 2436895.3080 | -5888.0  | -.0183               | .0015                | I    | pg     | Busch(1964)                       |
| 20 | 2437199.4290 | -5534.0  | .0036                | .0209                | I    | pg     | Busch(1964)                       |
| 21 | 2438290.4030 | -4264.0  | .0003                | .0103                | I    | pg     | Oburka(1965)                      |
| 22 | 2441928.4241 | -.29.0   | -.0011               | -.0046               | I    | pe     | Cerruti-Sola <i>et al.</i> (1977) |
| 23 | 2441953.3375 | 0.0      | .0002                | -.0033               | I    | pe     | Cerruti-Sola <i>et al.</i> (1977) |
| 24 | 2442567.5492 | 715.0    | .0003                | -.0037               | I    | pe     | Cerruti-Sola <i>et al.</i> (1977) |
| 25 | 2442595.4690 | 747.5    | .0014                | -.0027               | II   | pe     | Cerruti-Sola <i>et al.</i> (1977) |
| 26 | 2444445.4090 | 2901.0   | .0048                | .0022                | I    | vi     | Diethelm(1980)                    |
| 27 | 2444853.4410 | 3376.0   | -.0059               | -.0076               | I    | vi     | Braune & Mundry(1982)             |
| 28 | 2444853.4510 | 3376.0   | .0041                | .0024                | I    | vi     | Braune & Mundry(1982)             |
| 29 | 2444853.4700 | 3376.0   | .0231                | .0214                | I    | vi     | Braune & Mundry(1982)             |
| 30 | 2445228.4142 | 3812.5   | -.0024               | -.0031               | II   | pe     | Niarchos(1983)                    |
| 31 | 2445231.4186 | 3816.0   | -.0047               | -.0053               | I    | pe     | Niarchos(1983)                    |
| 32 | 2445232.2786 | 3817.0   | -.0037               | -.0044               | I    | pe     | Niarchos(1983)                    |
| 33 | 2445566.4490 | 4206.0   | .0012                | .0017                | I    | pg     | Frank(1984)                       |
| 34 | 2445597.3757 | 4242.0   | .0026                | .0031                | I    | pe     | Huebscher & Mundry(1984)          |
| 35 | 2445603.3830 | 4249.0   | -.0034               | -.0028               | I    | vi     | Wils(1983)                        |
| 36 | 2446309.5125 | 5071.0   | -.0024               | .0009                | I    | pe     | Kreiner & Tremko(1986)            |
| 37 | 2446614.4660 | 5426.0   | -.0071               | -.0024               | I    | pe     | Diethelm(1986)                    |
| 38 | 2446974.4080 | 5845.0   | -.0017               | .0048                | I    | vi     | Mavrofridis,G(1987)               |
| 39 | 2447364.3970 | 6299.0   | -.0156               | -.0069               | I    | vi     | Mavrofridis,G(1988)               |
| 40 | 2447803.3702 | 6810.0   | -.0104               | .0010                | I    | pe     | Huebscher & Mundry(1990)          |
| 41 | 2447803.3705 | 6810.0   | -.0101               | .0013                | I    | pe     | Huebscher & Mundry(1990)          |
| 42 | 2448101.4540 | 7157.0   | -.0125               | .0008                | I    | pe     | Huebscher & Mundry(1991)          |
| 43 | 2448101.4546 | 7157.0   | -.0119               | .0014                | I    | pe     | Huebscher & Mundry(1991)          |
| 44 | 2448467.4050 | 7583.0   | -.0114               | .0045                | I    | pe     | Diethelm(1991)                    |
| 45 | 2449859.4530 | 9203.5   | -.0332               | -.0061               | II   | pe     | Diethelm(1995)                    |

\* Kreiner &amp; Tremko(1986)

사용된 비교성과 검토성은 각각  $BD + 30^{\circ}4048$ 와  $BD + 30^{\circ}4047$ 로서 Cerruti-Sola *et al.* (1977)가 이미 사용하여 변광하지 않음이 밝혀져 있는 것들이다. 표 1의 차등 기계등급( $\Delta m$ )은 소백산 천문대의 DIPHO 프로그램을 사용하여 얻은 관측자료를 일반적인 자료처리 과정을 거쳐 얻은 것으로 매 관측 일 마다의 대기 감광 계수를 보정한 것이다. 한편, 관측된 광도곡선의 관측 오차는 각각 B 필터에서  $\pm 0.011$ 등급, V 필터에서  $\pm 0.009$ 등급 그리고 R 필터에서  $\pm 0.008$ 등급이다.

### 3. 공전주기 변화

식쌍성 V388 Cyg의 공전 주기 변화에 관한 분석은 Cerruti-Sola *et al.* (1977)와 Milano & Russo (1983)에 의하여 논의된 바 있다. 그런데 Cerruti-Sola *et al.* (1977)는 JD2636905에서  $\Delta P = 0.0000135^d$

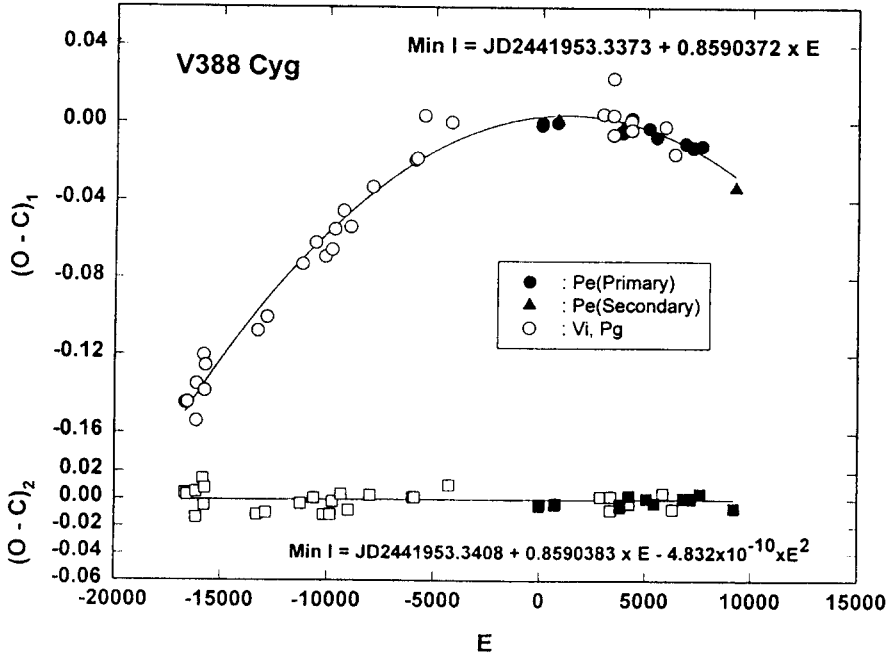


그림 1. V388 Cyg의 (O - C)도.

의 갑작스러운 주기 감소가 있음을 밝혔으며, Milano & Russo (1983)는 로쉬 한계면을 채우고 있는 질량이 큰 주성에서 질량이 작은 반성으로 질량 교환에 의한 일정한 주기 감소를 일으키는 소위 Kelvin-Helmholtz 시간 척도의 진화 단계에 있다고 주장하였다. 그 후 Kreiner & Tremko (1986)는 그 때까지 발표된 36점의 모든 극심시각을 수집 분석하여 JD2437880 근처에서  $\Delta P = 0.00002146^d$ 의 갑작스러운 주기감소가 있음을 밝히고 JD2437880를 전후한 각각의 광도요소를 발표하였다. 또한 이들은 이러한 갑작스러운 주기 감소뿐만 아니라 Milano & Russo (1983)가 주장한 바와 같은 두 별 사이의 일정한 질량 교환에 의한 연속적인 주기 변화를 나타내는 2차 함수를 포함한 광도요소도 함께 발표하였다. Kreiner & Tremko (1986)의 발표 이후 새로운 극심시각의 수집과 함께 V388 Cyg의 주기 변화를 재조사 하였다. 표 2에 지금까지 발표된 45점의 모든 극심시각을 수집하고 각각의 광도요소에 따른 (O - C)값을 수록하였다. 그림 1은 V388 Cyg의 (O - C)도로서 (O - C)<sub>1</sub> 값은 식(1)의 광도요소로부터 얻었다.

$$Min I = JD 2441953.3373 + 0.8590372 E \quad (1)$$

그림 1의 (O - C)도에 따르면 Cerruti-Sola et al. (1977)와 Kreiner & Tremko (1986)가 밝힌 바와 같은 각각 JD2636905과 JD2437880 근처에서의 갑작스러운 주기 감소 현상을 보이지 않고, 오히려 일

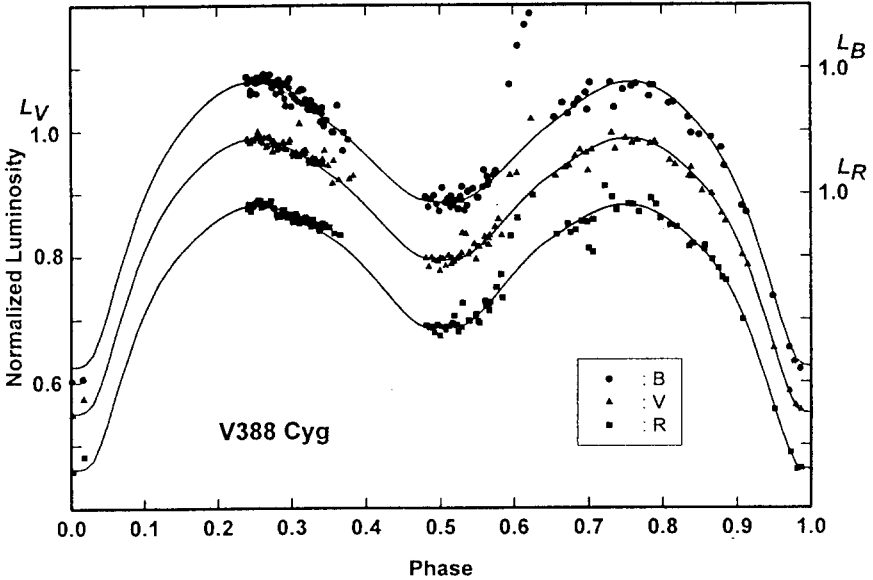


그림 2. V388 Cyg의 3색(B, V&R)의 관측된 광도곡선과 Wilson-Devinney 모델에 의한 이론적인 광도곡선(실선).

정한 주기 감소와 같은 연속적인 주기 변화를 보이고 있음이 뚜렷하게 나타나고 있다. 따라서 V388 Cyg의 연속적인 주기변화를 잘 대표할 수 있는 2차 함수를 포함한 새로운 광도요소를 얻었다. 표 2의  $(O - C)_2$ 은 2차 함수를 포함한 식(2)의 새로운 광도요소에 의하여 얻은 값으로 그림 1에 □으로 나타내었으며 이때의 확률오차는  $\pm 0.0051$ 이다.

$$Min I = JD 2441953.3408 + 0.8590383 E - 4.832 \times 10^{-10} E^2 \quad (2)$$

#### 4. 광도곡선과 궤도요소

V388 Cyg의 3색 (B, V&R) 측광 관측치를 Wilson의 차등보정 프로그램을 이용하여 동시에 입력 분석하였다. 그림 2는 V388 Cyg의 관측된 광도곡선으로서 전위상에 대하여 완성된 광도곡선을 얻지는 못하였다. 그러나 서론에서도 밝힌 바와 같이 이 별에 대한 광전측광에 의한 완성된 광도곡선은 Cerruti-Sola et al. (1977)의 V 광도곡선만이 유일한 것으로서, 우리의 관측 결과가 비록 전위상에 대하여 완성된 광도곡선은 아니지만 3색에 의한 관측치로서 3색을 동시에 적용하여 잠정적인 이 별의 궤도요소를 구하여 보았다. 먼저, Wilson 프로그램에 적용하기 위하여 3색 (B, V&R)의 관측치에 각

표 3. 여러 mode을 적용하여 얻은 V388 Cyg의 기본적인 값.

| Parameter     | mode 2 | mode 3 | mode 4 | mode 5 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| q             | 0.3490 | 0.3445 | 0.3818 | 0.3507 |
| $\Omega_{in}$ | 2.5722 | 2.5627 | 2.6407 | 2.5758 |
| $\Omega_1$    | 2.5715 | 2.5620 | 2.6407 | 2.5754 |
| $\Omega_2$    | 2.5725 | 2.5620 | 2.6956 | 2.5758 |

각  $+0^m.01$ ,  $-0^m.03$ ,  $-0^m.10$ 를 더하여 규격화 시켰으며 초기 입력값으로 Milano & Russo (1983)에 의하여 얻어진 케도요소를 사용하였다. 그런데 초기의 입력값으로서 고정시킨 인자와 그 값은 다음과 같다. 주성의 분광형 A3로서 Morton & Adams (1968)으로부터 주성의 온도,  $T_1 = 8840K$ 를 얻고 고정하였다. 주성과 반성의 주변감광계수  $x_1$ 과  $x_2$ 는 Carbon & Gingerich(1969)의 grid model 대기에 의한  $T_1 = 8840K \log g = 4$ 와  $T_2 = 5400K \log g = 4$ 으로 부터 각각  $x_1(B) = 0.667$ 과  $x_2(B) = 0.803$ ,  $x_1(V) = 0.543$ 과  $x_2(V) = 0.681$  그리고  $x_1(R) = 0.449$ 와  $x_2(R) = 0.596$ 을 얻었다. 그리고 중력감광계수(g)는 3색 모두 주성에 대하여  $g_1 = 1.00$ 과 반성은  $g_2 = 0.32$ 로 고정하였다. 복사 반사계수는 주성은  $A_1 = 1.00$ 으로 반성은  $A_2 = 0.50$ 으로 고정시켰다. 한편, 서론에서도 언급된 바와 같이 V388 Cyg의 로쉬 구조는 각각의 발표자 (Cerruti-Sola *et al.* 1977, Giuricin & Mardirossian 1981, Milano & Russo 1983)에 따라 분리형, 준분리형 또는 접촉형으로 분류되고 있다. 따라서 이번 조사에서는 V388 Cyg의 로쉬 구조를 보다 명확하게 이해하기 위하여 Wilson 모델에 분리형의 mode 2, 준분리형의 mode 4(주성은 로쉬면을 채우고 있으나 반성은 로쉬면과 분리)와 mode 5(반성이 로쉬면을 채우고 있으나 주성은 로쉬면과 분리) 그리고 접촉형의 mode 3를 각각 적용하여 케도요소를 구하였다. 표 3에 이별의 로쉬 구조를 판단하기 위해 각각의 mode로부터 얻은 이 별의 질량비 q, 내부 임계면 포텐셜  $\Omega_{in}$ , 주성의 표면 포텐셜  $\Omega_1$ 와 반성의 표면 포텐셜  $\Omega_2$ 를 제시하였다. 한편, 각각 적용된 4가지 mode로부터 얻은 이론적인 광도곡선이 관측된 광도곡선을 잘 대표하고 있는지를 판단 할 수 있는 오차  $\Sigma(residual)^2$ 는 4가지 mode에서 서로 비슷한 값을 나타냈기 때문에 각각의 mode에 따라 얻어진 오차 범위값은 제시하지 않았다. 표 3에 의하면, 분리형으로 적용한 mode 2에서 반성은 로쉬면 안에 ( $\Omega_1 < \Omega_{in}$ ) 있으나 주성이 로쉬 한계면을 초과 ( $\Omega_1 < \Omega_{in}$ )하여 나타나고 있다. 따라서 V388 Cyg는 분리형으로는 설명될 수가 없기 때문에 다음으로 주성이 로쉬면을 채우고 있는 준분리형의 mode 4를 적용하여 보았다. 그 결과 mode 4에서 주성은 로쉬면을 채우고 ( $\Omega_1 = \Omega_{in}$ ) 있으며 반성은 로쉬면 안에 ( $\Omega_2 > \Omega_{in}$ ) 나타나는 준분리형의 구조로 나타났다. 다음으로 Algol형에 해당되는 mode 5를 채택한 경우에는 반성은 로쉬면을 채우고 ( $\Omega_2 = \Omega_{in}$ ) 있으며 주성 또한 로쉬면을 초과하는 ( $\Omega_1 < \Omega_{in}$ ) mode 5로서는 비합리적인 "overcontact"의 결과를 보이고 있다. 이러한 결과로 부터 다음으로는 접촉형의 mode 3를 적용하여 보았다. 그 결과 주성과 반성 모두 로쉬면을 약간 초과하고 ( $\Omega_1 = \Omega_2 \leq \Omega_{in}$ ) 있는 만족 할 만한 접촉형의 구조로 나타났다. 결과적으로 V388 Cyg의 구조는 mode 3과 mode 4를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 여기서, 준분리형의 mode 4에서도 반성은 로쉬면을 거의 채우고 있는 접촉형에 근접한

표 4. V388 Cyg의 궤도요소.

|  | 1                            | 2     | 3      | mode 3                               |        |        | mode 4                               |        |        |
|--|------------------------------|-------|--------|--------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------|--------|--------|
|  | (V)                          | (V)   | (V)    | (B)                                  | (V)    | (R)    | (B)                                  | (V)    | (R)    |
| i  | 76 <sup>0</sup> <sub>3</sub> | 80.5  | 82.4   | 83 <sup>0</sup> <sub>292±0.276</sub> |        |        | 82 <sup>0</sup> <sub>952±0.185</sub> |        |        |
| q  |                              | 0.4   | 0.358  | 0.3445±0.0019                        |        |        | 0.3818±0.0035                        |        |        |
| T <sub>1</sub>                                     |                              | 8800  | 9600   | 8840*                                |        |        | 8840*                                |        |        |
| T <sub>2</sub>                                     |                              | 5700  | 5690   | 5436±27                              |        |        | 5423±21                              |        |        |
| L <sub>1</sub> /(L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> ) | 0.99                         | 0.928 | 0.945  | 0.9648                               | 0.9476 | 0.9314 | 0.9656                               | 0.9489 | 0.9325 |
| Ω <sub>1</sub>                                     |                              |       | 2.591  | 2.5620±0.0058                        |        |        | 2.6407                               |        |        |
| Ω <sub>2</sub>                                     |                              |       | 2.610  | 2.5620                               |        |        | 2.6956±0.0121                        |        |        |
| A <sub>1</sub>                                     |                              | 1.0   | 1.00   | 1.00*                                |        |        | 1.00*                                |        |        |
| A <sub>2</sub>                                     |                              | 0.5   | 0.50   | 0.50*                                |        |        | 0.50*                                |        |        |
| g <sub>1</sub>                                     |                              | 0.25  | 1.00   | 1.00*                                |        |        | 1.00*                                |        |        |
| g <sub>2</sub>                                     |                              | 0.08  | 0.32   | 0.32*                                |        |        | 0.32*                                |        |        |
| r <sub>1</sub> (pole)                              |                              | 0.467 | 0.4416 | 0.4450±0.0008                        |        |        | 0.4365±0.0012                        |        |        |
| r <sub>1</sub> (point)                             |                              |       | 0.5718 |                                      |        |        | 0.5975±0.0072                        |        |        |
| r <sub>1</sub> (side)                              | 0.47                         | 0.507 | 0.4718 | 0.4766±0.0011                        |        |        | 0.4663±0.0014                        |        |        |
| r <sub>1</sub> (back)                              |                              | 0.542 | 0.4985 | 0.5026±0.0012                        |        |        | 0.4929±0.0013                        |        |        |
| r <sub>2</sub> (pole)                              |                              | 0.280 | 0.2702 | 0.2715±0.0039                        |        |        | 0.2687±0.0041                        |        |        |
| r <sub>2</sub> (point)                             |                              |       | 0.3508 |                                      |        |        | 0.3347±0.0155                        |        |        |
| r <sub>2</sub> (side)                              | 0.20                         | 0.298 | 0.2808 | 0.2828±0.0047                        |        |        | 0.2788±0.0049                        |        |        |
| r <sub>2</sub> (back)                              |                              | 0.339 | 0.3111 | 0.3156±0.0082                        |        |        | 0.3052±0.0076                        |        |        |

\* fixed

1. Cerruti-Sola *et al.* (1977) 2. Giuricin & Mardirosoan (1981) 3. Milano & Russo (1983)

구조를 보이며, 접촉형의 mode 3의 결과에서도 주성과 반성이 모두 로쉬면에 매우 적은 값으로 약간 초과하는 구조를 보이고 있기 때문에 V388 Cyg이 접촉형인지 준분리형인지를 판단하기 매우 모호한 소위 near-contact binaries (Shaw 1990)로 분류되며 실제 near-contact binaries에 속하는 별들은 각각의 연구자에 따라 접촉형, 준분리형 또는 심지어 분리형으로도 분류하고 있다. 표 4에 Wilson 모델에 mode 3과 mode 4를 적용하여 구한 V388 Cyg의 궤도요소와 함께 지금까지 발표된 Cerruti-Sola *et al.* (1977), Giuricin & Mardirosoan (1981), 그리고 Milano & Russo (1983)의 궤도요소를 함께 비교 하였다. 그런데 Giuricin & Mardirosoan (1981)과 Milano & Russo (1983)의 궤도요소는 똑같이 Cerruti-Sola *et al.* (1977)의  $V$  광도곡선만을 사용하여 Wood모델과 Wilson 모델에 적용하여 구한 궤도요소이다. 한편, 접촉형에 해당되는 mode 3을 Wilson 프로그램에 적용함에 있어서 V388 Cyg는 주성과 반성의 온도 차이( $\Delta T \approx 3400^\circ\text{K}$ )가 매우 크기 때문에 각각 두 별의 주변 감광계수( $x$ ), 중력감광계수( $g$ ) 및 반사계수( $A$ )의 입력 값이 주성과 반성에 따라 서로 다른 값을 갖도록 Wilson 프로그램을 수정하여 적용하였다. 그림 2에 접촉형에 해당되는 mode 3을 적용한 궤도요소로부터 얻은 이론적인 광도곡선(실선)과 관측된 광도곡선을 비교하였다. 이때 관측점과 이론적인 광도곡선과의 오차는  $B, V$ 와  $R$  광도곡선에서 각각  $\Sigma(\text{residual})^2 = 0.0016$ ,  $\Sigma(\text{residual})^2 = 0.0010$ 와  $\Sigma(\text{residual})^2 = 0.0008$ 이



다. 이러한 값은 mode 4에서도 비슷한 결과를 보였기 때문에 mode 4에 의한 이론적인 광도곡선은 그림 2에서 비교하지 않았다.

5. 토의와 검토

그림 3과 4는 각각 표 4의 mode 3과 mode 4에 의한 Bradstreet의 *Binary Maker* 프로그램을 이용하여 얻은 V388 Cyg의 등포텐셜 곡선과 기하학적 모델로서 mode 3에서는 주성과 반성이 모두 로쉬면을 약간 채우고 있는 접촉형으로 나타나며 mode 4에서는 주성은 로쉬면을 채우고 있으나 반성이 로쉬면에 거의 근접된 준분리형의 구조를 나타내고 있다. 실제 mode 3의 접촉형에서의 접촉 정도는  $f \approx 0.3\%$ 로서 거의 무시할 정도의 overcontact으로 나타나고 있다. 따라서 그림 3과 4의 구조로부터 V388 Cyg는 대부분의 EB형 식쌍성에서 주로 나타나는 “near-contact binary”로 분류될수 있으며 이 가운데서도 V1010 Oph (Shaw 1990)형과 유사한 성질을 보이고 있다. 또한 관측된 광도곡선은 비록 전 위상에 대하여 완전한 광도곡선을 얻지는 못하였으나 위상 0.25의 Max. I이 위상 0.75의 Max. II

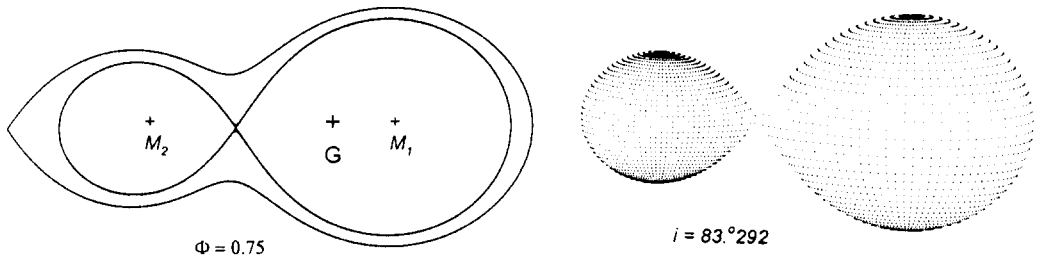


그림 3. V388 Cyg의 등포텐셜 곡선과 기하학적 모델(mode 3).

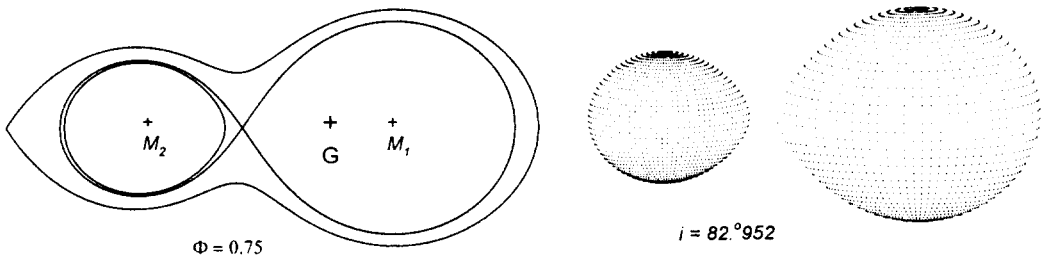


그림 4. V388 Cyg의 등포텐셜 곡선과 기하학적 모델(mode 4).

표 5. V388 Cyg의 측광학적 절대값.

|                    | Giuricin & Mardirosoan | Milano & Russo | mode 3 | mode 4 |
|--------------------|------------------------|----------------|--------|--------|
| $m_1/m_\odot$      | 2.5                    | 2.75           | 2.14   | 2.08   |
| $m_2/m_\odot$      | 1.0                    | 1.0            | 0.74   | 0.79   |
| $R_1/R_\odot$      | 2.8                    | 2.78           | 2.57   | 2.52   |
| $R_2/R_\odot$      | 1.7                    | 1.65           | 1.57   | 1.54   |
| $\log L_1/L_\odot$ | 1.62                   | 1.77           | 1.55   | 1.53   |
| $\log L_2/L_\odot$ | 0.44                   | 0.42           | 0.28   | 0.26   |

보다는 다소 밝은 것으로 나타나고 있다. 표 4의 결과는 mode 3과 mode 4에서 모두 V388 Cyg는 주심식에서 금환식으로 나타나며, 그림 2의 관측된 광도곡선으로부터 부극심시각에서의 위상 변화를 조사하여 보았으나, 부극심 근처에서의 광도곡선이 완전하지는 않지만, Cerruti-Sola *et al.* (1977)가 주장한 바와 같은 부극심 시각의 위상이 0.5에서 변위된 것이 확인되지 않았다. 또한, 이번 관측을 통하여 위상 0.6 근처에서 flare와 같은 갑작스러운 밝기 변화가 관측되었으며 이러한 현상은 앞으로 새로운 관측을 통하여 그 진위 여부를 확인 할 수 있을 것으로 생각된다. 이번 광도곡선의 분석에서는 이 값들은 포함하지 않았다. 한편, 현재까지 이 별의 분광관측 결과가 발표되지 않았기 때문에 보다 정확한 질량비를 비교 할 수는 없으며 이에 따라 측광학적 질량비를 통하여 이 별의 정확한 절대값을 결정한다는 것은 다소 무리가 있을 수 있다. 그러나 Wilson 모델의 결과로부터 얻은 1차적인 이별의 절대값들과 지금까지 발표된 결과들을 표 5에 비교하였다. 한편, 서론에서도 밝힌 바와 같이 이번에 관측된 광도곡선이 전 위상에서 관측점이 골고루 분포한 완전한 광도곡선을 얻지 못하였으나 이미 발표된 V388 Cyg의 결과 (Cerruti-Sola *et al.* 1977, Giuricin & Mardirosoan 1981, Milano & Russo 1983)들은 모두 Cerruti-Sola *et al.* (1977)의 V 광도곡선만을 사용하여 얻는 것에 비하여, 우리의 결과는 3색 ( $B, V \& R$ )의 광도곡선 관측값을 Wilson 프로그램에 동시에 적용하여 결정하였다. 그러나 관측이 다소 미흡 하였기 때문에 이번 분석에서 얻은 표 5의 절대값으로부터 이 별의 정확한 진화 단계를 검토하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 앞으로 이 별의 전 위상에 대하여 보다 많은 측광 관측점을 보강하여 3색 ( $B, V \& R$ )의 광도곡선을 동시에 만족할 수 있는 새로운 궤도요소를 발표할 계획이다. 특별히 측광관측은 물론 보다 정확한 이 별의 절대값을 얻기 위해서는 V388 Cyg의 분광관측이 시급히 요구되며, 이로부터 이 별의 진화를 언급할 수가 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- Braune, W. & Mundry, E. 1982, BAV mitt., 34  
 Busch, B. 1964, Hartha Zirc., 18  
 Carbon, D. F. & Gingerich, O. 1969, *Theory and Observations of Normal Stellar Atmospheres*, ed. O. Gingerich (MIT Press: Cambridge)

- Cerruti-Sola, M., Lorenzi, L. & Scaltriti, F. 1977, A&AS, 27, 435
- Diethelm, R. 1980, BBSAG, 49
- Diethelm, R. 1986, BBSAG, 80
- Diethelm, R. 1991, BBSAG, 98
- Diethelm, R. 1995, BBSAG, 109
- Fedorovich, V. 1948, *Variable Stars*, 6, 213
- Frank, P. 1984, BAV mitt., 38
- Gaposchkin, S. 1953, Ann. Harv. Coll. Obs., 113, No.2
- Giuricin, G. & Mardirossian, F. 1981, Ap&SS, 76, 111
- Huebscher, J. & Mundry, E. 1984, BAV mitt., 38
- Huebscher, J. & Mundry, E. 1990, BAV mitt., 56
- Huebscher, J. & Mundry, E. 1991, BAV mitt., 59
- Kaho, S. 1952, Tokyo Bull. II, 49
- Kreiner, J. M. & Tremko, J. 1986, CoSka, 14, 145
- Kwiek, A. 1936, Beob. Zirc. AN, 18, 61
- Mavrofridis, G. 1987, BBSAG, 84
- Mavrofridis, G. 1988, BBSAG, 89
- Milano, L. & Russo, G. 1983, MNRAS, 203, 235
- Morgenroth, O. 1935, AN, 255, 426
- Morton, D. C. & Adams, T. F. 1968, ApJ, 151, 611
- Niarchos, P. 1983, IBVS, 2451
- Oburka, O. 1965, BAICz, 16, 212
- Piegza, J. 1937, AcA, 3, 30
- Shaw, J. S. 1990, in *Active Close Binaries*, ed. C. Ibanoglu (Kluwer: Dordrecht), p.241
- Soloviev, A. 1944, AC USSR, 29, 6
- Szafraniec, R. 1961, AAS, 4
- Whitney, B. S. 1959, AJ, 64, 258
- Wils, P. 1983, BBSAG., 69
- Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, ApJ, 166, 605
- Wilson, R. E. 1979, ApJ, 234, 1054
- Wilson, R. E. 1992, *Documentation of Eclipsing Binary Computation Model* (University of Florida: Gainesville)