

## 근접쌍성 AG PERSEI의 광전관측과 근성점 운동 분석

이강환 · 정장해

충북대학교 천문우주학과

### PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF CLOSE BINARY AG PERSEI AND ITS APSIDAL MOTION ANALYSIS

K. H. Lee and J. H. Jeong

Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

e-mail: jeongjh@astro.chungbuk.ac.kr

(Received May 15, 1996; Accepted June 10, 1996)

#### 요 약

충북대학교 천문대에서 근접쌍성 AG Per를 1993년 1월부터 12월까지 광전측광하여 546개의 *UBV* 관측점을 얻었다. 이 관측점들로 광도곡선을 만들어 3개의 극심시각 JDHel. 2449284.213, JDHel. 2449360.060, JDHel. 2449363.192 등을 결정하였다. 우리의 광도곡선에서 제2 극심의 변위량  $\delta = -0.046$ 을 구해 계산한 이심율은  $e = 0.071$  이었다. 우리가 결정한 극심시각을 포함하여 여러 문헌에서 수집한 극심시각으로 *O - C*도를 그리고 이를 분석하여 근성점 운동 주기  $U = 76.17$ 년을 얻었다.  $e$ 와  $U$  값을 이용하여 내부구조상수  $\log k_2 = -2.13$ 을 얻었다.

#### ABSTRACT

A total of 546 *UBV* photoelectric observations of AG Per was carried out from January to December in 1993 at Chungbuk National University Observatory. With our observations, *UBV* light curves were constructed, three minimum times of JDHel. 2449284.213, JDHel. 2449360.060, and JDHel. 2449363.192 were determined. The phase displacement of secondary minimum time  $\delta = -0.046$  were determined and orbital eccentricity  $e = 0.071$  was calculated. Forty-five times of minimum light (including ours) were collected from the literature and plotted on *O - C* diagram. We analyzed these data and apsidal motion period of  $U = 76.17$  (years) was obtained. Using  $e$  and  $U$  for AG Per, the internal structure constant,  $\log k_2$ , was found to be -2.13.

## 1. 서 론

근접쌍성 AG Per (HD 25833, ADS 2990 A, B4V,  $V=6.7$ ,  $P=2.403$ )는 근성점 운동을 하는 식쌍성이다. Plaskett (1925)이 분광관측을 통해 처음으로 AG Per가 2중선 분광쌍성임을 발견한 이래, Huffer (1931)는 광전관측을 통해 부극심 시각의 위상이 현저하게 변위됨을 발견하였으며, Martin (1938)은 사진관측으로 얻은 부극심 위상 변위가  $e = 0.0512$ 인 궤도의 근성점 운동 때문이고 그 주기를  $U = 53$ 년 이라고 하였다. Ashbrook (1949)은 광전측광관측으로 개선된 근성점 운동주기를 얻고 그로부터 내부구조상수  $k_2 = 0.0033$ 을 구하였다. Semeniuk (1968)은 광전관측을 하여 더욱 정확한  $U = 76.4$ 년과  $k_2 = 0.0058$ 를 구했으며, AG Per의 진화 상태를 주계열성으로 이루어진 분리계라고 하였다. Gdr (1978)는 새로운 근성점 운동 주기  $U = 76.55$ 년을 제시하였으며 3가지 다른 방법으로 측광학적인 해( $e = 0.068$ )를 구한 후, 여러 가지 분광학적 자료를 이용하여 근성점 운동 상수를 계산하였다. 그 후, Botsula (1983)는 Gdr (1978)의 관측 자료로 AG Per의 측광학적 요소를 다시 결정하였는데 다른 연구자의 결과보다 큰 이심률  $e = 0.081$ 을 얻었다. Woodward & Koch (1987)는 UVB 광전관측하여 얻은 광도곡선과 이미 발표된 다른 광도곡선을 각각 EBOP 프로그램 (Popper & Etzel 1981)을 사용하여 측광학적 해를 구하여 서로 비교하였다. Gimnez *et al.* (1987)은 광전관측으로 얻은 극심시각과 문헌에서 얻은 극심시각 자료를 가지고 AG Per의 근성점 운동 주기와 이심률을 각각 76년과 0.070으로 계산한 후, 내부구조상수  $\log k_2 = -2.27$ 로 구하였으며 이 값을 항성 내부구조모델에 의한 값과 비교하였다. Terrell (1991)은 Gdr (1978)가 관측하여 얻은 BV 광도곡선을 Wilson-Devinney 프로그램으로 재분석 하였다. 그가 채택한 질량비는 Popper (1974)의  $q = 0.91$ 이었으며 다른 연구자들의 측광학적 요소와 비교해 볼 때,  $e = 0.0528$ 와  $\omega$ 의 값에서 큰 차이를 보인다. Gimnez & Clausen (1994)은 이용 가능한 광도곡선과 최근의 분광학적 요소들 (Popper & Hill 1991)을 재분석하여 AG Per에 대한 여러가지 물리량을 결정하였으며 특히, 관측으로 결정된  $k_2$ 의 대수값으로 표현되는 내부구조상수  $\log k_2$ 를 여러 사람의 이론치와 비교하였다. 그들은 AG Per의 측광학적 분석을 위해 개개 등급차에 대한 근성점의 위치 변화의 가능성을 고려한 EBOPC (EBOP의 개정판)를 사용하였다.

근성점 운동의 연구에 가장 필요한 자료는 극심시각이다. 우리는 근접쌍성 AG Per를 광전관측하여 극심시각을 구하고  $O - C$ 도를 그려 공전주기 변화의 유무와 근성점 운동 분석 및 내부구조상수  $\log k_2$ 를 계산한 후, 다른 연구자의 결과와 비교하였다.

## 2. 관측과 극심시각 결정

충북대학교의 Celestron 35cm Schmidt-Cassegrain식 반사망원경과 이에 부착된 측광장치 CBU-ASS-2를 사용하여 1993년 1월부터 12월 사이에 AG Per를 UVB 측광관측하였다. 총 15일 밤을 관측하였는데 13일 밤은 비교성으로 SAO 56968 (B3,  $V=6.9$ )을, 2일 밤은 비교성으로 SAO 56960 (F2,  $V=6.6$ )을 사용하였다. 광전측광 관측으로 얻은 자료는 CRED-RED-U 프로그램으로 처리하였고 UVB

표 1. AG Per의 *UBV* 관측점.

JD Hel. 2449000+	Phase	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$	JD Hel. 2449000+	Phase	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$
017.1034	0.8576	-0.331	-0.365	-0.368	051.9940	0.0558	-0.350	-0.385	-0.337
018.0301	0.3144	-0.322	-0.369	-0.303	051.9985	0.0580	-0.341	-0.375	-0.335
018.0344	0.3165	-0.339	-0.370	-0.309	059.9387	0.9719	-0.066	-0.119	-0.063
018.0384	0.3185	-0.317	-0.347	-0.291	059.9446	0.9748	0.005	-0.051	-0.040
018.0688	0.3334	-0.331	-0.387	-0.363	059.9488	0.9769	-0.004	-0.108	-0.038
018.0729	0.3355	-0.313	-0.357	-0.316	059.9529	0.9789	-0.033	-0.093	-0.036
018.1235	0.3604	-0.300	-0.382	-0.325	059.9571	0.9810	-0.017	-0.086	-0.070
018.9956	0.7903	-0.352	-0.376	-0.324	059.9614	0.9831	-0.033	-0.095	-0.078
019.0067	0.7958	-0.353	-0.391	-0.321	059.9654	0.9851	-0.005	-0.084	-0.062
019.0124	0.7985	-0.324	-0.367	-0.330	059.9702	0.9875	-0.071	-0.134	-0.103
019.0198	0.8022	-0.339	-0.341	-0.326	059.9762	0.9904	-0.046	-0.123	-0.103
019.0369	0.8106	-0.326	-0.371	-0.322	059.9804	0.9925	-0.075	-0.151	-0.101
019.0440	0.8141	-0.322	-0.388	-0.336	059.9849	0.9947	-0.080	-0.161	-0.106
019.0569	0.8205	-0.338	-0.384	-0.335	059.9945	0.9994	-0.022	-0.100	-0.016
019.0644	0.8242	-0.337	-0.389	-0.342	277.0981	0.0140	-0.253	-0.311	-0.270
019.0916	0.8376	-0.319	-0.374	-0.336	277.1114	0.0205	-0.258	-0.304	-0.286
019.1084	0.8459	-0.340	-0.380	-0.333	277.1157	0.0227	-0.280	-0.309	-0.274
019.1134	0.8483	-0.310	-0.366	-0.309	277.1254	0.0274	-0.212	-0.259	-0.209
025.9261	0.2065	-0.348	-0.410	-0.363	277.1291	0.0293	-0.328	-0.421	-0.408
028.0012	0.2293	-0.341	-0.413	-0.358	277.1430	0.0261	-0.398	-0.467	-0.498
028.0106	0.2339	-0.339	-0.387	-0.351	284.0585	0.4449	-0.360	-0.443	-0.516
028.0146	0.2359	-0.353	-0.419	-0.347	284.0630	0.4471	-0.379	-0.440	-0.363
028.0180	0.2376	-0.324	-0.397	-0.333	284.0675	0.4493	-0.052	-0.161	-0.219
028.0674	0.2619	-0.341	-0.387	-0.323	284.0737	0.4524	-0.367	-0.417	-0.402
028.0709	0.2637	-0.352	-0.397	-0.345	284.0788	0.4549	-0.202	-0.278	-0.165
028.0748	0.2656	-0.335	-0.403	-0.335	284.0959	0.4633	-0.304	-0.368	-0.331
028.0804	0.2683	-0.346	-0.385	-0.384	284.1029	0.4668	-0.345	-0.395	-0.356
028.0846	0.2704	-0.335	-0.373	-0.326	284.1179	0.4741	-0.293	-0.342	-0.316
028.0890	0.2726	-0.319	-0.379	-0.310	284.1244	0.4774	-0.258	-0.330	-0.305
028.0948	0.2754	-0.347	-0.380	-0.309	284.1496	0.4898	-0.182	-0.263	-0.240
028.1075	0.2817	-0.349	-0.403	-0.339	284.1547	0.4923	-0.187	-0.287	-0.236
029.9275	0.1788	-0.358	-0.382	-0.350	284.1694	0.4995	-0.162	-0.209	-0.193
029.9323	0.1812	-0.333	-0.394	-0.341	284.1747	0.5021	-0.173	-0.239	-0.162
029.9716	0.2005	-0.333	-0.372	-0.331	284.1808	0.5051	-0.160	-0.205	-0.172
029.9811	0.2052	-0.335	-0.386	-0.345	284.1858	0.5076	-0.110	-0.175	-0.114
029.9857	0.2075	-0.331	-0.378	-0.318	284.1909	0.5102	-0.080	-0.147	-0.103
030.0181	0.2235	-0.330	-0.380	-0.359	284.1972	0.5132	-0.134	-0.182	-0.123
030.0275	0.2281	-0.320	-0.387	-0.339	284.2022	0.5157	-0.148	-0.191	-0.125
030.0344	0.2315	-0.352	-0.380	-0.326	284.2063	0.5177	-0.146	-0.186	-0.145
030.0382	0.2334	-0.341	-0.377	-0.294	284.2106	0.5199	-0.186	-0.242	-0.189
030.0430	0.2357	-0.328	-0.384	-0.333	284.2155	0.5223	-0.172	-0.205	-0.159
037.9236	0.1202	-0.343	-0.398	-0.351	284.2221	0.5255	-0.047	-0.095	-0.041
037.9289	0.1229	-0.352	-0.406	-0.367	284.2322	0.5305	-0.086	-0.126	-0.122
037.9355	0.1261	-0.330	-0.404	-0.349	284.2420	0.5353	-0.103	-0.154	-0.101
037.9409	0.1288	-0.337	-0.377	-0.359	284.2473	0.5380	-0.104	-0.162	-0.110
037.9452	0.1309	-0.336	-0.384	-0.340	284.2653	0.5468	-0.150	-0.218	-0.171
037.9491	0.1328	-0.347	-0.382	-0.345	284.2711	0.5497	-0.193	-0.239	-0.176
037.9542	0.1353	-0.357	-0.397	-0.351	284.2765	0.5523	-0.204	-0.256	-0.216
037.9629	0.1396	-0.345	-0.394	-0.339	284.2855	0.5568	-0.277	-0.313	-0.267
037.9685	0.1424	-0.360	-0.396	-0.337	284.2905	0.5592	-0.330	-0.361	-0.308
037.9802	0.1482	-0.341	-0.396	-0.367	349.9063	0.9025	-0.961	-0.342	-0.014
037.9936	0.1547	-0.349	-0.395	-0.359	349.9113	0.9050	-0.909	-0.286	0.026
037.9991	0.1575	-0.358	-0.395	-0.359	349.9197	0.9092	-0.906	-0.294	0.047
038.0033	0.1595	-0.348	-0.410	-0.371	349.9274	0.9130	-0.946	-0.285	0.064
038.0080	0.1619	-0.321	-0.383	-0.334	349.9384	0.9184	-0.932	-0.334	0.028
038.0131	0.1644	-0.337	-0.385	-0.330	349.9406	0.9195	-0.953	-0.312	0.042
051.9665	0.0423	-0.304	-0.347	-0.254	349.9525	0.9253	-0.921	-0.324	0.017
051.9729	0.0454	-0.240	-0.295	-0.206	349.9936	0.9455	-0.820	-0.229	0.113
051.9770	0.0474	-0.305	-0.346	-0.268	349.9970	0.9472	-0.799	-0.220	0.101
051.9890	0.0534	-0.336	-0.351	-0.334	350.0058	0.9516	-0.786	-0.179	0.193

표 1. (계 속)

JD Hel. 2449000+	Phase	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$	JD Hel. 2449000+	Phase	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$
350.0090	0.9532	-0.776	-0.168	0.200	353.0796	0.4667	-0.930	-0.317	0.033
350.0114	0.9543	-0.709	-0.132	0.234	353.0858	0.4698	-0.909	-0.315	0.046
350.0163	0.9568	-0.699	-0.136	0.233	353.0889	0.4713	-0.891	-0.310	0.059
350.0184	0.9578	-0.687	-0.105	0.230	353.0920	0.4728	-0.896	-0.314	0.071
350.0244	0.9608	-0.693	-0.110	0.243	353.0961	0.4749	-0.894	-0.294	0.053
350.0264	0.9618	-0.668	-0.088	0.273	353.0998	0.4767	-0.866	-0.292	0.095
350.0301	0.9636	-0.693	-0.089	0.276	353.1080	0.4807	-0.868	-0.260	0.085
350.0326	0.9648	-0.668	-0.070	0.281	353.1108	0.4821	-0.882	-0.279	0.082
350.0376	0.9672	-0.643	-0.055	0.280	353.1179	0.4856	-0.830	-0.238	0.115
350.0398	0.9684	-0.629	-0.044	0.315	353.1217	0.4875	-0.847	-0.236	0.113
350.0435	0.9702	-0.620	-0.040	0.268	353.1242	0.4887	-0.839	-0.241	0.108
350.0482	0.9725	-0.633	-0.040	0.282	353.1321	0.4926	-0.777	-0.197	0.175
350.0516	0.9741	-0.634	-0.034	0.308	353.1356	0.4943	-0.784	-0.189	0.183
350.0632	0.9799	-0.635	-0.059	0.293	353.1380	0.4955	-0.772	-0.179	0.171
350.0734	0.9849	-0.599	-0.014	0.309	353.1416	0.4973	-0.786	-0.188	0.185
350.0806	0.9884	-0.669	-0.075	0.286	353.1498	0.5013	-0.708	-0.115	0.198
350.0891	0.9927	-0.672	-0.082	0.290	353.1550	0.5039	-0.724	-0.134	0.207
350.0913	0.9937	-0.662	-0.078	0.291	353.1572	0.5050	-0.722	-0.128	0.238
350.0953	0.9957	-0.694	-0.105	0.231	353.1628	0.5077	-0.720	-0.134	0.211
350.0981	0.9971	-0.676	-0.103	0.235	353.1660	0.5093	-0.678	-0.095	0.255
350.1042	0.0001	-0.728	-0.140	0.253	353.1711	0.5118	-0.657	-0.078	0.256
350.1074	0.0017	-0.729	-0.131	0.229	353.1766	0.5145	-0.662	-0.087	0.253
350.1116	0.0037	-0.712	-0.151	0.209	353.1792	0.5158	-0.675	-0.092	0.248
350.1137	0.0048	-0.736	-0.169	0.190	353.1838	0.5181	-0.653	-0.077	0.274
353.0454	0.4499	-0.938	-0.360	-0.006	353.1956	0.5239	-0.676	-0.092	0.260
353.0485	0.4514	-0.938	-0.350	0.029	353.1983	0.5252	-0.688	-0.085	0.304
353.0541	0.4541	-0.902	-0.329	0.002	353.2019	0.5270	-0.682	-0.088	0.278
353.0579	0.4560	-0.912	-0.340	0.037	353.2048	0.5284	-0.675	-0.080	0.255
353.0624	0.4583	-0.904	-0.336	0.045	353.2084	0.5302	-0.674	-0.069	0.264
353.0673	0.4607	-0.957	-0.364	-0.013	353.2139	0.5329	-0.701	-0.079	0.269
353.0727	0.4633	-0.945	-0.339	0.027	353.2161	0.5340	-0.710	-0.090	0.272

필터별로 각각 182점씩 총 546점을 얻었다. 이를 표 1에 정리하였는데, 여기서 JD Hel. 2449017부터 JD Hel. 2449285 사이의 *UBV* 관측점은 SAO 56968을 비교성으로 하여 얻은 결과이며, JD Hel. 2449350부터 JD Hel. 2449354 사이의 *UBV* 관측점은 SAO 56960을 비교성으로 하여 얻은 결과이다.

표 1에 정리한 우리의 관측자료를 이용하여 광도곡선을 만들고, Pogson의 이분법을 응용한 임조령 (1995)의 방법으로 *UBV* 필터별로 극심시각을

$$JD\ Hel.\ 2449284.213 \pm 0.004,$$

$$JD\ Hel.\ 2449360.060 \pm 0.002,$$

$$JD\ Hel.\ 2449363.192 \pm 0.009$$

등과 같이 결정하였다. 한편 Giménez & Clausen (1994)의 광도요소

$$Min\ I = JD\ Hel.\ 2442728.32980 + 2^d 0287298 \cdot E \quad (1)$$

를 사용하여, 위에서 얻은 3개의 극심시각들에 대하여 위상을 계산하여 각각 0.977, 0.523, 0.523 등을

표 2. AG Per의 극심시각들.

JD Hel. (2400000+)	E	(O - C)	*Ref.	JD Hel. (2400000+)	E	(O - C)	*Ref.
24931.3229	-8772.5	0.0253	Nh	42386.500	-168.5	0.011	KP3
24960.6948	-8758.0	-0.0194	Nh	42668.4970	-29.5	0.0147	GC
28941.1012	-6796.0	0.0091	Nh	42727.3314	-0.5	0.0160	GC
28950.1937	-6791.5	-0.0177	Nh	42728.3121	0.0	-0.0177	GC
32931.6380	-4829.0	0.0444	Nh	44634.352	939.5	0.031	Di1
32932.5656	-4828.5	-0.0424	Nh	44898.0915	1069.5	0.0352	Gi
37963.8304	-2348.5	-0.0275	Jo	44902.1473	1071.5	0.0335	Gi
37966.9342	-2347.0	0.0332	Jo	44915.2625	1078.0	-0.0380	Gi
38351.3199	-2157.5	-0.0254	Nh	44925.392	1083.0	-0.052	Di2
38356.4449	-2155.0	0.0278	Nh	44929.463	1085.0	-0.039	Di2
38357.4055	-2154.5	-0.0259	Se	45271.382	1253.5	0.039	Di3
38363.4911	-2151.5	-0.0265	Nh	45626.4097	1428.5	0.0394	G
39062.4362	-1807.0	0.0211	Nh	45984.3988	1605.0	-0.0423	G
39063.4150	-1806.5	-0.0144	Nh	47118.4458	2164.0	-0.0553	He
41628.7524	-542.0	-0.0058	Nh	47480.67474	2342.5	0.04531	Ca
41673.385	-520.0	-0.005	KP1	47495.79985	2350.0	-0.04498	Ca
41680.500	-516.5	0.009	Nh	47843.81937	2521.5	0.04730	CB
42096.386	-311.5	0.006	KP2	48195.71090	2695.0	-0.04571	CB
42336.7699	-193.0	-0.0150	WK	48196.81694	2695.5	0.04589	CB
42337.8122	-192.5	0.0129	WK	49284.213	3231.5	0.043	Le
42377.3459	-173.0	-0.0136	KP3	49350.060	3264.0	-0.044	Le
42384.4749	-169.5	0.0148	GC	49353.192	3265.5	0.045	Le
42386.504	-168.5	0.015	KP3				

\*Ref. Se; Semeniuk (1968), Jo; Jones (1969), KP1; Kizilirmak & Pohl (1974), KP2; Kizilirmak & Pohl (1975), Nh; Nha *et al.* (1975), KP3; Kizilirmak & Pohl (1976), Di1; Diethelm (1981a), Di2; Diethelm (1981b), Di3; Diethelm (1982), G; Gdr *et al.* (1984), Gi; Giménez *et al.* (1987), WK; Woodward & Koch (1987), He; Hegedus (1987), Ca; Caton *et al.* (1989), CB; Caton & Burns (1993), GC; Giménez & Clausen (1994), Le; Lee (this paper)

얻었다. 이를 이용하여 제2 극심의 변위량  $\delta$ 를

$$\delta = P - S - 0.5 = -0.046 \tag{2}$$

로 계산하였다. 여기서 P와 S는 제1 및 제2 극심의 위상 값을 나타낸다.

### 3. 공전주기 변화와 근성점 운동

근접쌍성 AG Per의 공전주기 변화로부터 근성점 운동의 양을 구하기 위해 우리가 구한 극심시각을 포함하여 최근까지 발표된 극심시각들을 여러 문헌에서 수집하여 표 2에 정리 하였다. 이 표에서  $O-C$  값은 식(1)을 사용하여 계산한 것이다. 표 2에서 E값을 가로축으로, day의 단위로 계산된  $O-C$  값을 세로축으로 하여 그림 1과 같은  $O-C$ 도를 그렸다. 이 그림에서  $\bullet$ 은 제1극심을,  $\square$ 은 제2극심을, 실선으로 표시된 곡선은 모든 관측점을 가장 잘 대표하는 이론적인 곡선이다. 우리가 사용한 이론적인 곡선의 식은

$$T = T_0 + PE + (j - 1) \frac{P_a}{2} + (2j - 3) \frac{eP_a}{2\pi} \cos(\omega E + \omega_0) + \frac{e^2 P_a}{4\pi} \sin 2(\omega E + \omega_0) \tag{3}$$

와 같으며 여기서  $j$ 는 제1극심의 경우 1이고, 제2극심의 경우 2로 대체되는 값이고,  $P_a$ 는 근점주기 이

다. 우리는 이들 식에 포함된 계수  $T_0$ ,  $P$ ,  $e$ ,  $\dot{\omega}$ ,  $\omega_0$  등의 값을 미분보정법으로 계산하여

$$\begin{aligned}
 T_0 &= JD\text{ Hel. } 2442728.3298, \\
 P &= 2^d 0287297, \\
 e &= 0.0705, \\
 \dot{\omega} &= 0.02625 \text{ (}^\circ/\text{cycle)}, \\
 \omega_0 &= 191.78 \text{ (}^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

와 같이 결정하였다.  $\dot{\omega}$ 는  $P$  기간에 근성점이 이동하는 윗로서  $2\pi$ 를 휩쓰는 기간에 해당하는  $U$ 가 근성점 운동 주기이다. 이들의 관계를

$$U = 2\pi \frac{P}{\dot{\omega}}
 \tag{5}$$

와 같이 쓸 수 있고, 이 식에 우리가 얻은  $\dot{\omega} = 0.02625 \text{ (}^\circ/\text{cycle)}$ 와  $P = 2^d 0287297$ 을 대입하여 근성점 운동 주기  $U$ 를 76.17년으로 계산하였다. 한편 광도곡선에서 얻은 식(2)의 결과  $\delta = -0.046$ 을

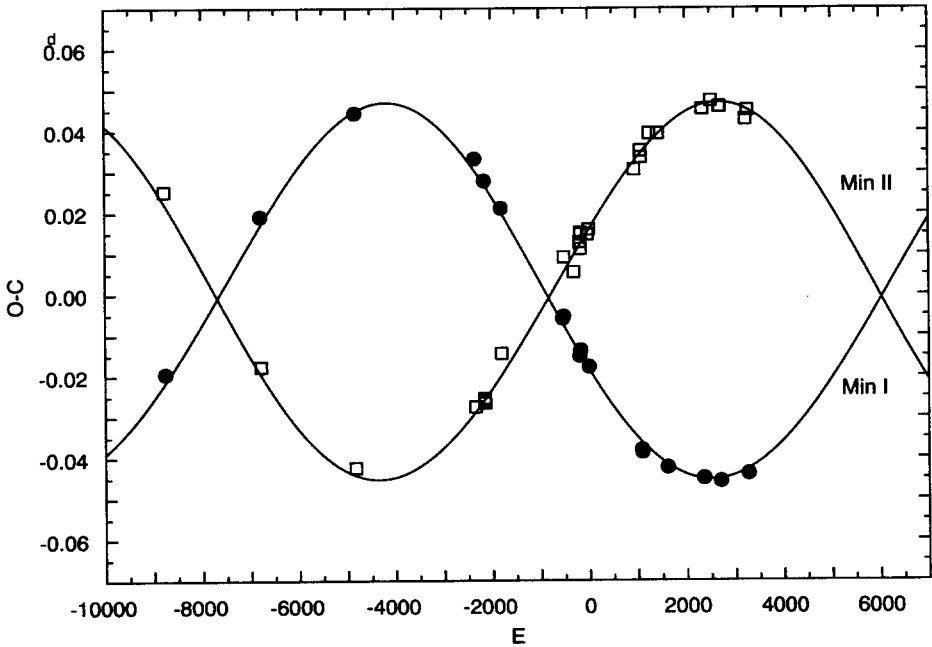


그림 1. AG Per의 O-C도.

표 3. AG Per의 기초적인 자료.

Item	Value	Reference
$e$	0.071	this paper
$A \sin i (R_{\odot})$	$13.68 \pm 0.07$	Popper (1974)
$i$	$81^{\circ}4 \pm 0.6$	Giménez & Clausen (1994)
$m_1 (M_{\odot})$	$5.36 \pm 0.16$	Giménez & Clausen (1994)
$m_2 (M_{\odot})$	$4.90 \pm 0.13$	Giménez & Clausen (1994)
$r_1$	$0.2045 \pm 0.0045$	Giménez & Clausen (1994)
$r_2$	$0.1779 \pm 0.0045$	Giménez & Clausen (1994)
$P(\text{day})$	2.0287297	this paper
$U(\text{year})$	76.17	this paper

$$e \cos \omega = \pi \delta / (1 + \text{cosec}^2 i) \quad (6)$$

에 대입하여  $e = 0.075$ 을 얻었다. 여기에 사용된  $i = 81^{\circ}4$ 는 Giménez & Clausen (1994)의 값이며  $E = 3264$ 에서  $\omega$ 의 값은

$$\omega = \dot{\omega}E + \omega_0 = 337.5 \quad (7)$$

로 계산된 값이다. 이렇게 얻은  $e = 0.075$ 는 식(4)의 값  $e = 0.0705$ 와 차이가 있다.

항성내부구조를 기술하는 데는 별의 중심으로부터의 거리  $r$ 의 함수로 표현되는 압력  $P$ , 질량  $M$ , 광도  $L$ , 온도  $T$  등에 관한 4개의 기본 미분방정식을 사용한다. Vogt-Russell 정리는 별의 화학조성이 주어지면 이들 방정식의 단 한 개의 해만 가능하다는 것이다. 이것은 화학조성이 같으면 내부구조는 동일하다는 의미가 된다. 그러나 관측적 사실은 화학조성이 같아도 내부구조는 여러 경우가 있다는 것을 말해 주고 있으며 이것은 항성의 내부구조 상태가 그 별의 과거 역사에 의존된다는 것을 말한다. 항성의 내부구조를 기술하는 여러 방법 중에서 중요한 하나가 내부 밀도 분포를 기술하는 것이라고 할 수 있는데, Russel (1928)은 처음으로 근점쌍성의 근성점 운동주기가 성분별의 내부구조상수, 상대적 반경, 별의 질량에 의한 분석적 표현으로 기술할 수 있음을 알아냈다. 그 후 이론들이 Chandrasekhar (1933), Sterne (1939), Schwarzschild (1958) 등에 의해 더욱 발전되어, 오늘날에는 근성점 운동상수(apsidal motion constant)  $k_2$ 가 내부밀도상태를 나타내는 지수로 사용하게 되었다. 점질량인 별의 경우  $k_2 = 0$ 이고, 밀도가 균질한 경우  $k_2 = 0.75$ 이며, 일반적으로 별은 중심쪽으로 갈수록 밀도가 커지므로 보통의 별은  $0 < k_2 < 0.75$ 의 값을 갖는다. 최근에  $\log$ 를 취한 값  $\log k_2$ 를 내부구조상수(internal structure constant)라고 하여 사용하고 있다.

우리는 AG Per의  $\log k_2$ 를 계산하기 위해 표 3에 정리한 바와 같이 우리가 얻은  $e$ 와  $U$ 를 포함하여 여러 기초적인 자료를 문헌에서 조사하였다. 여기서  $r_1, r_2$ 는 두 별의 상대적 반경이고, 이 계산을 위해 Kopal (1978)이 제시한

$$k_2 = \frac{c_1 k_{21} + c_2 k_{22}}{c_1 + c_2} = (c_1 + c_2)^{-1} \frac{P_s}{U} \quad (8)$$

와 같은 식을 사용하였다. 여기서  $c_1, c_2$ 는 중량 계수로서

$$c_i = \left[ \left( \frac{\omega_i}{\omega_k} \right)^2 \left( 1 + \frac{m_{3-i}}{m_i} \right) \frac{1}{(1-e^2)^2} + \frac{15}{8} \frac{m_{3-i}}{m_i} \frac{(8+12e^2+e^4)}{(1-e^2)^5} \right] (r_i)^5, \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

표 4. AG Per의 내부 구조 상수의 비교.

$\log k_2$	Reference	비 고
-2.48	Ashbrook (1949)	관측치
-2.23	Semeniuk (1968)	관측치
-2.23	Nha <i>et al.</i> (1975)	관측치
-2.27	Giménez <i>et al.</i> (1987)	관측치
-2.14	Giménez <i>et al.</i> (1987)	Hejlesen의 1982년 모델 <sup>1</sup>
-2.20	Giménez <i>et al.</i> (1987)	Jeffery (1984)에 의한 모델 <sup>2</sup>
-2.12	Giménez & Clausen (1994)	Claret & Giménez (1992)의 모델 <sup>3</sup>
-2.14	Giménez & Clausen (1994)	관측치
-1.99	Giménez & Clausen (1994)	Moffat (1989)의 비대칭 중력 이론 효과 보정
-2.13	this paper	관측치

<sup>1</sup> Cox & Stewart (1969)의 Opacity에 근거한 이론적 항성 진화 모델임<sup>2</sup> Carson *et al.* (1984)의 Opacity에 근거한 이론적 항성 진화 모델임<sup>3</sup> Rogers & Iglesias (1992)의 Opacity에 근거한 이론적 항성 진화 모델임

로 표현되며,  $\omega_i$ 는 axial rotation 각속도이고  $\omega_k$ 는 Keplerian 공전 각속도이다.  $(\omega_i/\omega_k)^2$ 는 실제로 통계학적 근사값인  $(1+e)(1-e)^3$ 와 매우 가깝다. 식 (8)과 (9)에 표 3의 값을 대입하여 내부구조상수  $\log k_2 = -2.13$ 를 계산하였다. 우리가 계산한 값과 다른 사람들의 값을 비교하여 표 4에 정리하였다.

### 참고 문헌

임조령 1995, 석사학위논문 (충북대학교)

Ashbrook, J. 1949, AJ, 55, 2

Botsula, R. A. 1983, Perem. Zvezdy, 21, 851

Carson, T. R., Huebner, W. F., Magee, N. H. & Merts, A. L. 1984, ApJ, 283, 466

Caton, D. B. & Burns, W. C. 1993, IBVS, 3900

Caton, D. B., Hawkins, R. L. & Burns, W. C. 1989, IBVS, 3408

Chandrasekhar, S. 1933, MNRAS, 93, 449

Claret, A. & Giménez, A. 1992, A&AS, 96, 255

Cox, A. N. & Stewart, J. N. 1969, NIV, 15, 103

Diethelm, R. 1981a, BBSAG Bull., 52

Diethelm, R. 1981b, BBSAG Bull., 57

Diethelm, R. 1982, BBSAG Bull., 63

Giménez, A. & Clausen, J. V. 1994, A&Ap, 291, 3

Giménez, A., Kim, C.-H. & Nha, I.-S. 1987, MNRAS, 224, 543

Güdüür, N. 1978, Ap&SS, 57, 17

Güdüür, N., Sezer, C. & Gulmen, O. 1984, IBVS, 2644

Hegedus, T. 1987, IBVS, 3125

Huffer, C. M. 1931, Washburn Obs. Publs., 15, 192



- Jeffery, C. S. 1984, *MNRAS*, 207, 323
- Jones, D. H. P. 1969, *Acta Astr.*, 19, 1
- Kizilirmak, A. & Pohl, E. 1974, *IBVS*, 937
- Kizilirmak, A. & Pohl, E. 1975, *IBVS*, 1053
- Kizilirmak, A. & Pohl, E. 1976, *IBVS*, 1163
- Kopal, Z. 1978, *Dynamics of Close Binary System* (D. Reidel Publ.: Dordrecht)
- Martin, W. C. 1938, *Bull. Astr. Inst. Neth.*, 8, 286
- Moffat, J. W. 1989, *Phys. Rev. D.*, 39, 474
- Nha, I.-S., Oh, K.-D. & Jeong, J.-H. 1975, *Yonsei Nonchong*, 12, 95
- Plaskett, H. H. 1925, *Publs. Dom. Astrophys. Obs.*, 3, 188
- Popper, D. M. 1974, *ApJ*, 188, 559
- Popper, D. M. & Etzel, P. B. 1981, *AJ*, 86, 102
- Popper, D. M. & Hill, G. 1991, *AJ* 101, 600
- Rogers, F. J. & Iglesias, C. A. 1992, *ApJS*, 79, 507
- Russel, H. N. 1928, *MNRAS*, 88, 642
- Semeniuk, I. 1968, *Acta Astr.*, 18, 1
- Schwarzschild, M. 1958, *Structure and Evolution of the Stars* (Princeton Univ. Press: Princeton)
- Sterne, T. E. 1939, *MNRAS*, 99, 451
- Terrell, D. 1991, *MNRAS*, 250, 209
- Woodward, E. J. & Koch, R. H. 1987, *Ap&SS*, 129, 187