

W UMa형 접촉쌍성 AB And의 주기변화

진 호¹ · 한 원 용¹ · 김 천 휘² · 이 재 우² · 이 우 백¹

¹천문대, ²충북대학교 천문우주학과

PERIOD CHANGE OF W UMa TYPE CONTACT BINARY AB And

Ho Jin¹, Wonyong Han¹, Chun-Hwey Kim², Jae-Woo Lee², Woo-Baik Lee¹

¹Korea Astronomy Observatory,

²Department of Astronomy & Space Science, Chungbuk National University

(Received November 10, 1997; Accepted November 27, 1997)

요 약

W UMa형 접촉쌍성 AB And의 BVR CCD 측광관측을 1994년 9월부터 1996년 10월까지 4일간 수행하여 4개의 새로운 극심시각을 결정하였다. 이 극심시각과 이제까지 발표된 모든 극심시각을 분석하여 AB And의 주기변화의 양상을 연구하였다. AB And의 주기변화를 sine 함수와 같이 규칙적으로 변한다고 가정하여, 관측된 극심시각을 가장 잘 맞추는 광도 요소를 구하였다. 이 광도요소의 sine 항으로부터 계산된 AB And의 공전주기 변화는 약 0.059일의 진폭으로 약 92년 주기로 규칙적으로 변화하고 있다. 그러나 가장 최근에 관측된 이 연구의 극심시각들은 이 광도요소에서 예측한 극심시각들보다 다소 크게 나타나고 있다. 따라서, 우리는 AB And의 공전주기가 sine 함수의에도 포물선 형태로 변한다고 가정하고 관측된 극심시각을 가장 잘 맞추는 광도요소를 구하였다. 이 광도요소의 이차항으로 계산된 AB And의 공전주기는 100년에 약 0.73초 만큼 영년 증가하는 동시에, sine 항으로부터 약 62.9년 주기와 0.024일의 진폭으로 규칙적으로 변화한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 향후 10년 이내에는 AB And의 공전주기는 sine 항만을 고려하면 주기 감소를 해야하고, 이차항까지 고려하면, 주기 증가가 예측되므로, AB And의 주기변화에 대한 명확한 해답을 위해서 지속적인 관측이 요구된다.

ABSTRACT

The CCD photometric observations of W UMa-type eclipsing binary AB And were made from September 1994 to October 1996. New four primary minimum times were obtained from these observations. The analysis of times of minimum light for AB And confirms other previous studies that the orbital period of AB And have been changing as a form of sinusoidal variation. In this paper, we calculated the new orbital elements with linear and nonlinear quadratic term, and the best fit equation is derived with the assumption that the period variation of AB And changes sinusoidal pattern. From the sinusoidal term of this orbital element, we calculate period variation as 92 years with amplitude of 0.^d059. However this result considering only sinusoidal term, was

not satisfied with our recent observations. Thus, by assuming another parabolic period variation with the sinusoidal pattern, we derived the best fit orbital elements. From the quadratic coefficient of this orbital elements, we calculated the secular variation of 0.73 seconds, and from the sinusoidal term, the period variation turned out to be 62.9 years with amplitude of 0.⁴024. If we assume only the sinusoidal period variation of AB And, the period has to be decreased within 10 years. However if we consider quadratic term with the sinusoidal period variation of the light elements, the period is expected to be increased. Therefore long-term observations of this binary system are required to confirm this issue.

1. 서 론

AB And(BD+36°5017)는 공전주기가 약 0.332일인 W UMa형 접촉 식쌍성계이다. Guthnick & Prager(1927)에 의해서 처음으로 변광한다는 것이 밝혀진 이 쌍성계는 그 이후 많은 관측자들의 사진 및 광전측광의 대상이 되어 왔다. Oosterhoff(1950)는 사진 측광을 이용해 광도곡선을 구하였고, 처음으로 공전주기가 변화함을 보고하였다. 이후 Binnendijk(1959), Hinderer(1960), Landolt(1969), Rigterink(1973), Jameson & Akinci(1979), 및 Demircan *et al.* (1994) 등은 B와 V 필터에 의한 광전측광을 수행하였다. 특히 Jameson & Akinci(1979)는 적외선 영역인 J($1.2\mu\text{m}$)와 K($2.2\mu\text{m}$)의 필터를 이용하여 관측했다. 또한 관측한 광도곡선을 이용한 궤도요소의 해는 Kopal & Shapley(1956), Hinderer(1960), Rigterink(1973), Lucy(1973), Rucinski(1974), Berthier(1975), Hrivnak(1988) 등에 의해 연구되어 졌다.

이 논문에서 논의할 AB And의 공전주기에 대하여 Oosterhoff(1950)는 78개의 사진관측으로부터 얻어진 극심시각으로 공전주기가 sine형태의 변화를 보임을 처음으로 제시하였고, 그 원인을 제 3천체에 의한 광시간 효과라고 하였다. 또한 매우 작은 진폭을 가진, 설명하지 못할 주기의 빠른 변화가 있음을 보고하였다. 그러나 1950년이후의 관측으로부터 공전주기의 규칙적인 주기성에 대한 논의는 점차 사라지고, 주기가 증가추세로 가고 있다는 연구 내용이 지배적이었다. 그 한 예로서 Binnendijk(1959)는 그가 관측한 극심시각이 Oosterhoff(1950)에 의해 제시된 광도요소로 계산한 것보다 약 50분후에 일어났음을 보고하였다. 이후 Purgathofer & Prochazka(1967), Landolt(1969), Maupom *et al.* (1991) 등에 의해 주기 증가에 대한 논의가 계속해서 제기되었다.

그러나, Maupom *et al.* (1991)은 지속적인 주기 증가가 83년의 주기를 가지고 있다고 하여 규칙적인 변화의 가능성을 제시하였고, Demircan *et al.* (1994)과 Nellermeoe & Reitzler(1997)의 최근 연구에 의하면, AB And의 공전주기는 규칙적인 변화를 하되, Maupom *et al.* (1991)의 83년보다 더 긴 약 88년의 긴 주기성을 제시하였다. 그러나 Tüfekçioglu(1977), Panchatsaram & Abhyankar(1981) 그리고 Bell *et al.* (1984)은 1950년대 중반 이후로 AB And의 공전궤도주기는 실제로 변함없이 일정하다고 주장하고 있다. 따라서 현재로서는 AB And의 공전주기 변화 양상에 대한 일관된 해석이 없으므로, 이 연구에서는 새로운 극심시각을 관측하여 이 쌍성계의 공전주기변화 형태를 분석하고자 한다.

표 1. 이 연구에서 관측된 AB And의 관측된 극심시각 및 관측점수.

극심시각 · (JD Hel 2440000+)	필터형태	극심형태	관측점	관측장소	관측일자
9611.2698 ±1	B	I	220	경희대천문대	1994. 9. 15
9611.2708 ±2	V	I	220	경희대천문대	1994. 9. 15
9625.2126 ±4	B	I	193	경희대천문대	1994. 9. 29
9625.2126 ±1	V	I	193	경희대천문대	1994. 9. 29
10072.9308 ±1	B	I	90	소백산천문대	1995. 12. 21
10072.9309 ±1	V	I	90	소백산천문대	1995. 12. 21
10072.9312 ±1	R	I	90	소백산천문대	1995. 12. 21
10386.2352 ±3	B	I	111	소백산천문대	1994. 10. 29
10386.2361 ±1	V	I	111	소백산천문대	1994. 10. 29
10386.2367 ±2	R	I	111	소백산천문대	1994. 10. 29

2. 관측과 극심시각

AB And의 CCD 측광관측을 1994년 9월부터 1996년 10월까지 4일간 수행하였다. 1994년 9월 15일과 29일의 이틀 밤은 경희대학교 천문대의 30인치 반사망원경으로 전기냉각방식의 CCD에 B, V필터를 부착하여 관측하였고, 1995년 12월 21일과 1996년 10월 29일 관측은 소백산 천문대의 61cm 반사망원경에 액체질소로 냉각되는 PM512 CCD카메라를 부착하여 수행되었다. 이때 사용한 필터는 표준 B, V, R 필터이다. AB And의 밝기를 비교하기 위한 비교성은 BD+35°4972로서 Landolt(1969)와 Rigtterink(1973)가 사용한 비교성과 같다. 경희대 천문대에서의 관측 자료는 경희대 천문대에서 개발한 KPHO(진호 1995)로 처리되었으며, 소백산 천문대에서의 관측은 소백산 천문대에서 개발되어 사용중인 DIPHO(박남규 1993)를 이용하여 처리하였다. 두 방법들은 모두 차등측광(differential photometry) 방법을 채택하여 자료를 처리하였다.

4일간의 관측에서 각 필터별로 얻어진 10개의 극심시각으로부터 같은날에 관측한 각 필터의 극심시각을 평균하여 총 4개의 극심시각을 Kwee & Van Woerden(1956) 방법으로 결정하였다. 표 1에 각 관측일에 얻어진 관측점 수와 이 관측으로 산출된 극심시각을 수록하였다.

3. 주기변화 연구

AB And의 공전주기 변화 양상을 살펴보기 위하여 여러 문헌으로부터 이제까지 발표된 이 별의 총 123개의 극심시각(사진관측: 23개, 광전관측: 95개, CCD관측: 5개)을 수집하여 표 2에 수록하였다. 이 극심시각들을 이용하여, AB And의 공전주기 변화 양상을 살펴보기 위하여 Nellerhoe & Reitzler(1997)가 결정한 광도요소,

$$C = JD\ Hel\ 2425497.4846 + 0^d.3318890E + 0^d.0603 \cos(2\pi(E - 23707)/100230) \quad (1)$$

표 2. 주기분석에 사용한 AB And의 극심사각.

극심사각(JD)	공전궤수	$(O - C)_1$	$(O - C)_2$	방법	극심형태	관측자
2416103.9250	-28303.5	.0615	.0275	PG	II	Binnendijk,L.
2417735.8221	-23386.5	.0605	.0353	PG	II	Grigorevskij,V.M.
2417735.6562	-23387.0	.0605	.0353	PG	I	Grigorevskij,V.M.
2418684.5120	-20528.0	.0457	.0257	PG	I	Binnendijk,L.
2418963.6330	-19687.0	.0481	.0296	PG	I	Binnendijk,L.
2424760.3600	-2221.0	.0020	.0151	PG	I	Binnendijk,L.
2425276.4445	-666.0	-.0008	.0150	PG	I	Binnendijk,L.
2425502.1267	14.0	-.0032	.0139	PG	I	Binnendijk,L.
2425873.5073	1133.0	-.0064	.0128	PG	I	Binnendijk,L.
2426216.1793	2165.5	-.0098	.0112	PG	II	Binnendijk,L.
2429523.5830	12131.0	-.0458	-.0068	PG	I	Binnendijk,L.
2429550.6312	12212.5	-.0465	-.0074	PG	II	Binnendijk,L.
2429907.7398	13288.5	-.0505	-.0094	PG	II	Binnendijk,L.
2430257.8803	14343.5	-.0529	-.0099	PG	II	Binnendijk,L.
2430611.8379	15410.0	-.0549	-.0099	PG	I	Binnendijk,L.
2430962.6450	16467.0	-.0544	-.0076	PG	I	Binnendijk,L.
2431046.6150	16720.0	-.0523	-.0050	PG	I	Binnendijk,L.
2431350.4580	17635.5	-.0537	-.0048	PG	II	Binnendijk,L.
2431707.9018	18712.5	-.0543	-.0034	PG	II	Binnendijk,L.
2432133.0469	19993.5	-.0590	-.0058	PG	II	Binnendijk,L.
2432413.1603	20837.5	-.0599	-.0052	PG	II	Binnendijk,L.
2432793.6710	21984.0	-.0600	-.0032	PG	I	Binnendijk,L.
2433207.3684	23230.5	-.0622	-.0031	PG	II	Binnendijk,L.
2435370.4555	29748.0	-.0616	.0093	PE	I	Purgathofer,A.,Prochazka,F.
2435371.4515	29751.0	-.0612	.0096	PE	I	Purgathofer,A.,Prochazka,F.
2436109.5784	31975.0	-.0555	.0194	PE	I	Binnendijk,L.
2436124.6801	32020.5	-.0547	.0202	PE	II	Binnendijk,L.
2436132.6461	32044.5	-.0540	.0210	PE	II	Binnendijk,L.
2437188.3937	35225.5	-.0453	.0354	PE	II	Purgathofer,A.,Prochazka,F.
2437915.4026	37416.0	-.0392	.0455	PE	I	Kalchaeu,K.,Trutse,Y.L.
2438288.4530	38540.0	-.0321	.0547	PE	I	Pohl,E.
2438672.4490	39697.0	-.0316	.0572	PE	I	Pohl,E.
2439051.3050	40838.5	-.0269	.0640	PE	II	Pohl,E.
2439761.7240	42979.0	-.0163	.0785	PE	I	Tufekcioglu,Z.
2440128.7945	44085.0	-.0150	.0817	PE	I	Landolt,A.U.
2440129.7901	44088.0	-.0151	.0817	PE	I	Landolt,A.U.
2440131.7816	44094.0	-.0149	.0819	PE	I	Landolt,A.U.
2440158.8312	44175.5	-.0143	.0827	PE	II	Landolt,A.U.
2440158.6648	44175.0	-.0147	.0822	PE	I	Landolt,A.U.
2440433.4725	45003.0	-.0111	.0873	PE	I	Pohl,E.,Kizilirmak,A.
2440474.2940	45126.0	-.0119	.0867	PE	I	Pohl,E.,Kizilirmak,A.
2440828.7568	46194.0	-.0066	.0940	PE	I	Rigterink,P.V.
2440828.9226	46194.5	-.0067	.0938	PE	II	Rigterink,P.V.
2440829.7525	46197.0	-.0066	.0940	PE	I	Rigterink,P.V.
2440829.9181	46197.5	-.0069	.0937	PE	II	Rigterink,P.V.
2440833.4034	46208.0	-.0064	.0942	PE	I	Kizilirmak,A.,Pohl,E.
2440842.3655	46235.0	-.0053	.0953	PE	I	Popovici,C.
2440846.3487	46247.0	-.0048	.0959	PE	I	Popovici,C.
2440855.3094	46274.0	-.0051	.0956	PE	I	Popovici,C.
2440883.8511	46360.0	-.0059	.0950	PE	I	Rigterink,P.V.
2440883.6851	46359.5	-.0059	.0949	PE	II	Rigterink,P.V.
2440885.8427	46366.0	-.0056	.0953	PE	I	Rigterink,P.V.
2440885.6769	46365.5	-.0054	.0954	PE	II	Rigterink,P.V.
2440886.8382	46369.0	-.0058	.0951	PE	I	Rigterink,P.V.
2440886.6728	46368.5	-.0052	.0957	PE	II	Rigterink,P.V.
2441233.3337	47413.0	-.0024	.1004	PE	I	Pohl,E.,Kizilirmak,A.
2442258.5451	50502.0	.0039	.1123	PE	I	Popovici,C.
2442258.3792	50501.5	.0040	.1123	PE	II	Popovici,C.
2442265.3490	50522.5	.0041	.1125	PE	II	Popovici,C.
2442300.3636	50628.0	.0044	.1130	PE	I	Popovici,C.
2442300.5295	50628.5	.0044	.1130	PE	II	Popovici,C.

표 2. (계 속)

극심사각(JD)	공전횟수	$(O - C)_1$	$(O - C)_2$	방법	극심형태	관측자
2442786.2570	52092.0	.0124	.1236	PE	I	Tufekcioglu,Z.
2442962.4920	52623.0	.0143	.1265	PEV	I	Pohl,E.,Kizilirmak,A.
2443044.3047	52869.5	.0164	.1290	PE	II	Tufekcioglu,Z.
2443044.4694	52870.0	.0151	.1278	PE	I	Tufekcioglu,Z.
2443046.2941	52875.5	.0144	.1271	PE	II	Tufekcioglu,Z.
2443050.4433	52888.0	.0150	.1277	PE	I	Tufekcioglu,Z.
2443054.4262	52900.0	.0153	.1279	PE	I	Tufekcioglu,Z.
2443129.2694	53125.5	.0175	.1306	PE	II	Tufekcioglu,Z.
2443369.3904	53849.0	.0168	.1312	PE	I	Taufekcioglu,Z.
2443370.3873	53852.0	.0180	.1324	PE	I	Taufekcioglu,Z.
2443371.3827	53855.0	.0178	.1322	PE	I	Taufekcioglu,Z.
2443373.3744	53861.0	.0181	.1326	PE	I	Taufekcioglu,Z.
2443375.3653	53867.0	.0177	.1321	PE	I	Taufekcioglu,Z.
2443481.4057	54186.5	.0196	.1346	PEV	II	Ebersberger, J. et al.
2443749.4090	54994.0	.0225	.1390	PEV	I	Pohl,E., Gulmen,O.
2444136.5579	56160.5	.0229	.1415	PE	II	Rovithis,P.,Rovithis,H.
2444136.3931	56160.0	.0241	.1426	PE	I	Rovithis,P.,Rovithis,H.
2444137.5525	56163.5	.0218	.1404	PE	II	Rovithis,P.,Rovithis,H.
2444137.3871	56163.0	.0224	.1410	PE	I	Rovithis,P.,Rovithis,H.
2444138.5486	56166.5	.0223	.1409	PE	II	Rovithis,P.,Rovithis,H.
2444912.5257	58498.5	.0343	.1571	PE	II	Bell,S.A. et al.
2444913.3597	58501.0	.0385	.1613	PE	I	Bell,S.A. et al.
2444914.3542	58504.0	.0374	.1602	PE	I	Bell,S.A. et al.
2445230.4774	59456.5	.0363	.1608	PEV	II	Pohl,E.,et al.
2445261.3456	59549.5	.0388	.1635	PE	II	Bell,S.A. et al.
2445261.5098	59550.0	.0371	.1618	PE	I	Bell,S.A. et al.
2445263.3367	59555.5	.0386	.1633	PE	II	Bell,S.A. et al.
2445263.5015	59556.0	.0374	.1622	PE	I	Bell,S.A. et al.
2446002.4573	61782.5	.0424	.1711	PEV	II	Pohl,E. et al.
2446321.4033	62743.5	.0431	.1736	PEV	II	Pohl,E. et al.
2446987.5111	64750.5	.0497	.1838	PEB	II	Diethelm,R.
2446987.5111	64750.5	.0497	.1838	PEB	II	Diethelm,R.
2447063.3371	64979.0	.0391	.1736	PE	I	Hanzl,D.
2447413.4901	66034.0	.0492	.1856	PE	I	Hanzl,D.
2447792.5095	67176.0	.0514	.1898	PE	I	Demircan,O.et al.
2447793.5048	67179.0	.0510	.1895	PE	I	Demircan,O.et al.
2447794.3339	67181.5	.0504	.1889	PE	II	Demircan,O.et al.
2447795.3293	67184.5	.0501	.1886	PE	II	Demircan,O.et al.
2447836.3186	67308.0	.0511	.1898	PE	I	Demircan,O.et al.
2448173.3591	68323.5	.0583	.1989	PE	II	Rovithis,P.et al.
2448174.3509	68326.5	.0545	.1950	PE	II	Rovithis,P.et al.
2448176.3420	68332.5	.0542	.1948	PE	II	Rovithis,P.et al.
2448176.5104	68333.0	.0567	.1973	PE	I	Rovithis,P.et al.
2448186.2986	68362.5	.0542	.1948	PE	II	Demircan,O.et al.
2448208.3701	68429.0	.0551	.1958	PE	I	Demircan,O.et al.
2448214.3447	68447.0	.0556	.1964	PE	I	Demircan,O.et al.
2448218.3268	68459.0	.0551	.1959	PE	I	Demircan,O.et al.
2448512.5474	69345.5	.0561	.1985	PE	II	Demircan,O.et al.
2448512.3812	69345.0	.0558	.1982	PE	I	Demircan,O.et al.
2448513.5434	69348.5	.0564	.1988	PE	II	Demircan,O.et al.
2448513.3777	69348.0	.0567	.1991	PE	I	Demircan,O.et al.
2448645.3044	69745.5	.0575	.2006	PEB	II	Diethelm,R.
2448884.5958	70466.5	.0569	.2014	PE	II	Demircan,O.et al.
2448884.4321	70466.0	.0592	.2036	PE	I	Demircan,O.et al.
2448885.2603	70468.5	.0577	.2021	PE	II	Demircan,O.et al.
2449587.3755	72584.0	.0617	.2100	PE	I	Agerer,F.,Huescher,J.
2449611.2708	72656.0	.0610	.2094	CCDV	I	This Paper
2449625.2126	72698.0	.0635	.2119	CCDV	I	This Paper
2449677.3169	72855.0	.0612	.2099	PEB	I	Diethelm,R.
2450019.8290	73887.0	.0639	.2145	PE	I	Nellermoe,B.I.et al.
2450072.9309	74047.0	.0635	.2144	CCDV	I	This Paper
2450386.2344	74991.0	.0638	.2164	CCDV	I	This Paper

의 선형항을 사용하였다. 이 식으로부터 AB And의 (O-C)도를 그림 1과 같이 작성하였다. 이 그림에서 실선은 (1)식의 cosine 함수를 나타낸다. 그림 1에서 보듯이 우리가 관측한 극심시각들은 Nellerhoe & Reitzler(1997)가 결정한 cosine 곡선에서 위쪽으로 벗어나고 있다. 이 연구에서 구한 극심시각들은 이들이 구한 광도 요소로 작성한 (O-C)도에서 더욱 증가하는 양상을 보이고 있다. 이것은 Nellerhoe & Reitzler(1997)가 결정한 광도요소를 개정할 필요가 있거나, 아니면 sine곡선의 단순한 형태의 변화보다는 이제까지 알려지지 않은 더욱 복잡한 변화를 겪고 있다는 것을 암시하고 있다고 할 수 있다.

먼저 미분보정법의 하나인 Lenvenberg-Marquardt 방법(Press et al. 1989)을 사용하여 (1)식의 광도요소를 개정하였다. 이때 수집한 극심시각들중, 관측의 정밀도가 떨어지는 안시 관측을 제외하고, 사진관측, 광전관측 그리고 CCD 관측만을 사용하였다. 우리가 최종적으로 구해야할 변수는 기산점, 공전주기, cosine 또는 sine 함수의 진폭, 각진동수, 그리고 위상인데 이들의 초기값은 (1)식에 주어진 Nellerhoe & Reitzler(1997)의 값으로 이용하였다. 최종적으로 구한 광도요소는

$$C = JD_{Hel}2425497.4834 + 0^d.331888988E + 0^d.0592 \sin(0^{\circ}.003561E - 173^{\circ}.4) \quad (2)$$

± 29 ± 56 ± 29 ± 79 $\pm 3^{\circ}.8$

이며 (2)식으로부터 구해진 (O-C) 잔차들을 표 2의 셋째줄 (O-C)₁에 수록하였다. 이 계산에서는

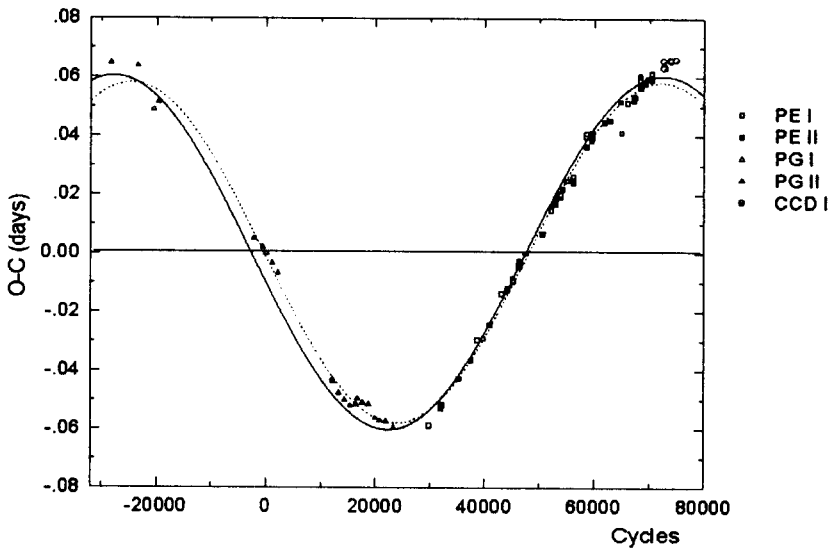


그림 1. AB And의 (O-C)도. 이 그림의 실선으로 표시된 부분은 Nellerhoe & Reitzler(1997)의 cosine항으로 작성된 그림이고 점선의 곡선은 Demircan et al. (1994)이 구한 sine항으로 그려진 그림이다. 이 두 곡선 모두 마지막 부분에서 ⊙ 기호로 표시된 최근 우리의 관측결과와 조금 벗어나고 있다. 그림에서 PE는 광전측광, PG는 사진측광, CCD는 CCD측광, I과 II는 각각 주극심과 부극심이다.

광전관측과 CCD관측치는 사진관측치보다 가중치(weight)를 2배 더 주었으며 (2)식의 선형항으로 그린 AB And의 (O-C)도를 그림 2에 제시하였다. 그림 2의 곡선은 (2)식의 sine항을 그린 것이다. (2)식의 sine항의 각진동수로부터 sine항의 주기는 91.9(±2.3)년이다. 우리의 해에서 cosine함수의 진폭은 Nellerhoe & Reitzler(1997)의 해 보다 0.^d0011만큼 크고 sine 함수의 주기는 약 0.85 년정도 더 길게 나타났다. 그림에서 보듯이 우리가 관측한 극심시각들은 (1)식의 sine 곡선보다는 우리가 구한 (2)식의 sine 곡선에 더 근접한 것으로 나타났으나, 이전 결과들처럼 sine 곡선의 위쪽 부분에 위치함으로써 우리는 이 쌍성계의 공전주기가 단순한 sine 곡선과 같이 변하지 않을 수도 있음을 확인할 수 있다. 관측된 극심시각과 (2)식의 전체를 사용한 이론치의 차이를 그림 2의 아래부분에 그려보았는데 작은 진폭을 가진 요동이 보인다.

따라서, (2)식에 포물선항을 첨부한 광도요소에 관측치들을 맞추어 보았다. 그 결과는

$$C = JD\ Hel\ 2425497.4664 + 0^d.331887181E + 0.3856 \times 10^{-10}E + 0^d.0236 \sin(0^{\circ}00520 - 214^{\circ}17) \quad (3)$$

± 22 ± 44 ± 73 ± 33 ± 14 ± 7.6

이며 (3)식으로부터 구해진 (O-C) 잔차들을 표 2의 넷째줄 (O-C)₂에 수록하였다. (3)식 역시 위에서 사용방법과 같은 미분보정법으로 구하였으며 (3)식의 선형항으로 작성한 AB And의 (O-C)도를 그림 3에 제시하였다. 이 그림에서 곡선은 (3)식의 이차항과 sine 항을 합쳐 그린 것을 나타내는데 모든 관측점들이 이 곡선에 매우 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 이 광도요소의 이차항으로 계산된 AB And의 공전주기는 100년에 약 0.73초 만큼 영년 증가한다. 또한, sine 항으로부터 공전주기의 변화 주기는 약 62.9년이며, 그 진폭은 약 0.024일이다.

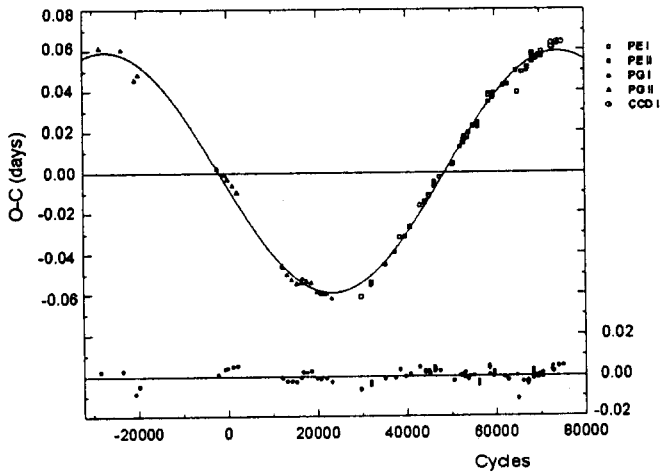


그림 2. AB And의 (O-C)도. 이 연구에서 구한 (2)식의 선형항으로 작성되었고 그림의 아래부분은 이 식의 전체를 사용하여 계산한 값과 관측치의 차이를 나타내 보였다. 그림의 실선은 이 식의 sine항으로 그려졌으며 최근 우리의 관측은 이전의 계산에 비해 (2)식에 더욱 근접하였으나 여전히 조금 벗어나 보인다.

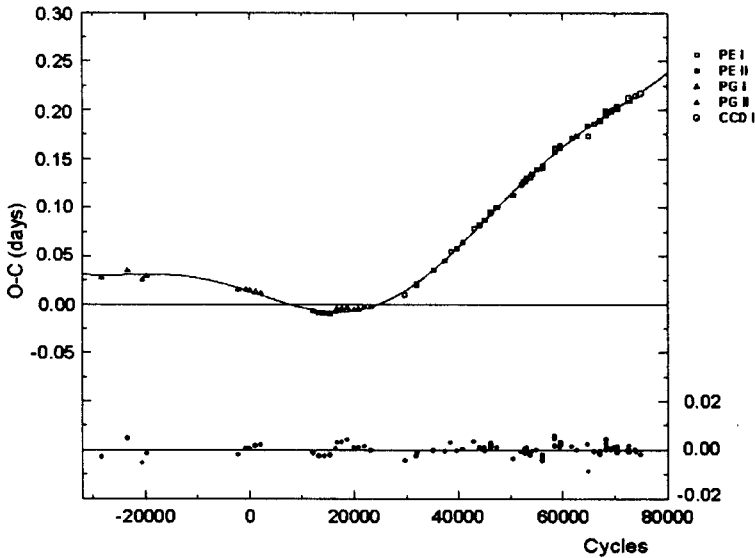


그림 3. AB And의 $(O - C)$ 도. 이 연구에서 구한 (3)식의 선형항으로 작성되었으며 아래부분은 계산값과 관측치의 차이를 나타내 보였다. 계산된 결과, 관측값들이 대부분 일치되고 있다.

4. 토의와 결론

이 연구에서 우리는 AB And의 공전주기 변화를 두가지 관점에서 분석하였다. 이 별의 공전주기가 첫째, sine 함수처럼 규칙적으로 변한다는 해석과, 둘째, 포물선위에 sine 함수가 합쳐져 변한다는 해석이 그것이다. 첫번째 해석에서 극심시각을 분석하면, AB And의 공전주기가 약 0.059일의 진폭을 가지고 약 92년 주기로 규칙적으로 변화한다. 그렇다면, 앞으로 약 40년동안 관측될 극심시각들의 $(O - C)$ 값들은 계속적으로 감소해야한다. 반면, 두 번째 해석에서 분석된 AB And의 공전주기는 100년에 약 0.73초 만큼 영년 증가하는 동시에, 약 62.9년 주기와 0.024일의 진폭으로 규칙적으로 변화한다. 이것이 사실이라면, 앞으로 관측된 극심시각들의 $(O - C)$ 값들은 지속적인 영년 증가위에 주기적인 변화를 해야한다.

이 두가지 해석은 그 물리적인 해석이 다르기 때문에 AB And의 공전주기 변화의 원인을 논하기에 앞서 꼭 해결해야만 한다. (2)식과 (3)식의 전체를 이용하여 계산치와 관측값 사이의 표준 편차를 상호 비교해보면 (2)식의 경우 0.0029일이며 (3)식의 경우 0.0023일로서 (3)식의 경우가 보다 관측치에 더 잘 일치하는 듯 하다. 따라서, 현재로서는 두 번째 해석이 관측된 극심시각을 더 잘 맞추는 것 같으나 향후 10년정도의 관측으로 그 여부가 결정될 것으로 예상된다. 한편, 그림 2와 3에 그린 $(O - C)$ 도의 아래 부분에 제시한 잔차((2)식과 (3)식의 전체를 이용하여 계산치와 관측값사이의 차이)들의 변화를 각각 자세히 살펴 보면, 작은 진폭의 주기 변화가 있는 것처럼 보여 AB And의 주기 변화가 매우 복잡함을 알 수 있으나 이 변화에 주기성 여부는 이 연구에서 분석하지 않았다. AB And의 공전주기 변화의 실체가 밝혀지기 위해서는 향후의 지속적인 측광 관측이 요망된다.

감사의 글: 본 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(기초과학 BSRI-97-5426)와 천문대의 기관고유사업 연구비 지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 박남규 1993, 박사학위논문, 서울대학교
진 호 1995, 석사학위논문, 경희대학교
Bell, S. A., Hilditch, R. W. & King, D. J. 1984, *MNRAS*, 208, 123
Berthier, E. 1975, *A&A*, 40, 237
Binnendijk, L. 1959, *AJ*, 64, 65
Demircan, O., Deman, E., Akalin, A. Selam, S. & Muyesseroglu, Z. 1994, *MNRAS*, 267, 19
Guthnick, P. & Prager, R. 1927, *Astron. Nachr.* 229, 455
Hinderer, F. 1960, *J. Obs.*, 43, 161
Hrivnak, B. J. 1988, *ApJ*, 335, 319
Jameson, R. F. & Akinci, R. 1979, *MNRAS*, 188, 421
Kopal, Z. & Sharpley, M. B. 1956, *Jodrell Bank Ann.*, 1, 141
Kwee, K. K. & van Woerden, H. 1956, *Bull., Astron., Insts., Neth.*, 12, 327
Landolt, A. U. 1969, *AJ*, 74, 1078
Lucy, L. B. 1973, *Ap&SS.*, 22, 381
Maupom L., Rodriguez, E., Hobart M. A., Pena, J. H. & Peniche R. 1991, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 22, 235
Nellermoe, B. L. & Reitzler, L. E. 1997, *IBVS* 4477
Oosterhoff, P. T. 1950, *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 11, 217
Panchatsaram, T. & Abhyankar, K. D. 1981, *Bull. Astron. Soc. India*, 9, 243
Press, W., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A. & Vetterling, W. T. 1989, *Numerical Recipes* (Cambridge Univ. Press: Cambridge), Chapter 14
Purgathofer, A. & Prochazka, F. 1967, *Wien Mitt.*, 13, 151
Rigterink, P. V. 1973, *A&AS*, 12, 313
Rucinski, S. M. 1974, *AcA*, 24, 119
Tüfekçioğlu, Z. 1977, *Commun. Fac. Sci. Univ., Ankara, Ser. A3*, 25, 25