

접촉쌍성 AB Andromedae의 측광해와 흑점모델

이재우^{1,2†}, 김천휘¹, 한원용², 진호², 오규동³

¹충북대학교 자연과학대학 천문우주학과, 기초과학연구소, ²한국천문연구원, ³전남대학교 지구과학교육과

PHOTOMETRIC SOLUTIONS AND SPOT MODEL OF THE CONTACT BINARY AB ANDROMEDAE

Jae Woo Lee^{1,2†}, Chun-Hwey Kim¹, Wonyong Han², Ho Jin², Kyu-Dong Oh³

¹Department of Astronomy & Space Science, College of Natural Sciences and Institute
for Basic Science Research, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

²Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

³Department of Earth Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

E-mail: jwlee@ast.chungbuk.ac.kr

(Received April 28, 2003; Accepted May 27, 2003)

요 약

1995년 11월부터 1999년 12월까지 총 10일간 W형 접촉쌍성 AB And를 소백산천문대의 61cm 망원경과 BVR 필터를 사용하여 CCD 측광관측을 수행하였다. 우리의 관측으로부터 AB And의 1995, 1996 그리고 1999년에 걸친 년도별 광도곡선을 완성하였고, 8개의 새로운 극심시각을 결정하였다. 새로 얻은 광도곡선은 AB And가 지난 5년 동안 심한 광도변화를 겪어왔음을 보여주고 있다. 기존 광도곡선으로 선정된 1996년의 광도곡선을 Wilson-Devinney 쌍성모델의 접촉모드에 적용하여 AB And의 측광해를 구하였다. 이 분석에서 광도변화의 원인을 흑점에 의한 것으로 가정하여 시스템 인자들을 산출한 후, 단지 흑점만을 조정인자로 하여 1995년과 1999년 광도곡선을 분석하였다. 그 결과, 우리는 광도변화가 반성 표면 위에 hot spot과 cool spot가 동시에 존재해서 일어난다고 해석하였다. 반성 표면 위의 hot spot는 이재우(1999)가 제안한 질량교환에 의한 것으로 유추할 수 있다.

ABSTRACT

We performed CCD photometric observations of the W-type contact binary AB And for 10 nights from November 1995 to December 1999 using the 61-cm reflector and BVR filters at Sobaeksan Optical Astronomy Observatory. From our observations, the seasonal light curves of AB And for 1995, 1996 and 1999 were completed and 8 new times of minimum light were determined. Newly obtained light curves show that strong light variations occurred in AB And during the past five years. We adopted the 1996 light curves as reference ones and obtained the photometric solutions of them with contact mode in the Wilson-Devinney binary code. Assuming such light variations were produced by the existence of a star spot (or star spots) in the analysis, we derived the system parameters and analyzed the 1995 and 1999 light curves by adjusting only the spot parameters. As the results, we interpreted that those light

[†]corresponding author

variations are produced by the simultaneous existence of a hot spot and a cool spot on the secondary. We could infer that the hot spot on the secondary is produced due to mass exchange between the components suggested by Lee (1999).

Key words: CCD observations, eclipsing binary, AB And, photometric solutions, spots

1. 서 론

AB And(BD +36° 5017, SAO 073069)은 분광형이 G5V이고, 주기가 약 $0^d.3319$ 인 W UMa형 접촉쌍성계로 Guthnick & Prager(1927)에 의해 발견되었다. Oosterhoff(1950)가 사진관측에 의해 최초로 광도곡선을 완성한 이후, 이 쌍성계의 BV 광도곡선은 Binnendijk(1959), Hinderer(1960), Landolt(1969), Rigtternik(1973), Rovithis-Livaniou & Rovithis(1981), Bell et al.(1984), 그리고 Demircan et al.(1994a)에 의해 완성되었고, Jameson & Akinci(1979)은 JK 광도곡선을 얻었다. 또한, 분광관측은 Struve et al.(1950)과 Hrivnak(1988)에 의해 수행되었다.

광도곡선 분석 연구는 Kopal & Shapley(1956), Hinderer, Rigtternik, Lucy(1973), Rucinski(1974), Berthier(1975), Mochnacki(1981), Rovithis-Livaniou & Rovithis, Bell et al., Hrivnak, 그리고 Djurašević et al.(2000)에 의해 수행되었다. Hrivnak은 52개의 스펙트럼으로부터 새로운 시선속도곡선을 완성하고, Wilson-Devinney(Wilson & Devinney 1971, 이하 WD라 약함) 프로그램을 사용하여 Rigtternik의 BV 광도곡선과 Jameson & Akinci의 JK 광도곡선을 재분석함으로써 이 쌍성계가 질량비(q)가 1.91인 전형적인 W형 W UMa 접촉쌍성임을 보고하였다. Djurašević et al.은 AB And의 광도변화 원인을 두 성분 모두에 cool spot가 존재한다고 가정하여 1968년에서 1995년 사이에 관측된 몇 개의 광도곡선들을 재분석하였다.

한편, AB And의 공전주기변화 연구는 Oosterhoff에 의해서 최초로 수행되었다. 그는 궤도 공전주기가 주기적으로 변하여 왔고, 이러한 변화가 제3천체에 의한 광시간 효과 때문에 일어난다고 제안하였다. 그러나, 그 이후의 연구자들은 1950년대 중반이후로 공전주기가 연속적으로 증가하거나(Binnendijk 1959, Purgathofer & Prochazka 1967, Landolt 1969, Maupomé et al. 1991), 또는 일정하다고(Panchatsaram & Abhyankar 1981, Bell et al. 1984) 주장하였다. 1990년대에, Demircan et al.(1994b)은 궤도 공전주기가 $0^d.0580$ 의 진폭과 88년의 주기를 가지고 규칙적으로 변하여 왔음을 발견하였다. 그는 궤도 공전주기변화가 질량이 크고 온도가 낮은 반성에서의 자기활동에 의한 4극 모멘트(quadrupole moment)의 변화나 제3천체에 의한 광시간 효과에 의해 일어난다고 제안하였고, Nellerme & Reitzler(1997)는 Demircan et al.(1994b)의 비선형 광도요소를 개선하였다. 한편, Kalimeris et al.(1994)은 그들이 제안한 새로운 방법에 의해 AB And의 (O-C)도를 분석하여 이 쌍성계의 공전주기가 85년과 25년의 규칙적인 주기변화가 겹쳐서 일어남을 제안하였다. 최근에, 진호 등(1997)과 이재우(1999)는 Demircan et al.(1994b)과 Nellerme & Reitzler가 제안한 규칙적인 주기변화 외에도 포물선 모양의 연속적인 주기증가가 겹쳐서 일어남을 보이고, 이 원인을 주성에서 반성으로의 질량이동으로 해석하였다.

이상에서 살펴본 것을 요약하면, 접촉쌍성 AB And는 매 관측계절마다 광도가 변하고, 그 원인이 주로 cool spot에 의한 것으로 알려져 왔다. 그러나, 아직까지 흑점에 대한 정량적인 해석은 거의 없다. 또한, 이재우가 주기변화 연구에서 제안한 질량이동이 일어난다면, 물질의 이동에 따른 마찰과

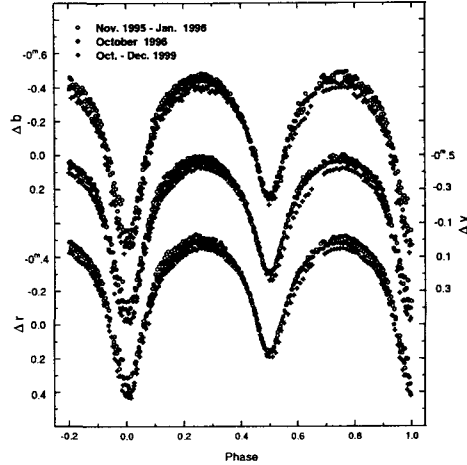


그림 1. AB And의 청색(blue), 황색(yellow), 적색(red) 광도곡선.

충격에 의해 반성 표면 위에 hot spot가 존재할 수 있다. 따라서, 우리는 AB And를 우리의 관측 프로그램에 포함하였고, 지난 1995년부터 1999년까지 소백산천문대에서 이 별을 관측하였다. 이 연구는 한 천문대에서 같은 망원경과 관측기기를 이용하여 얻어진 3년의 광도곡선을 분석함으로써, 광도 변화의 주요한 원인으로 생각되는 흑점을 정량적으로 분석하고자 한다.

2. 관측과 극심시각

AB And의 CCD 측광관측을 1995년 11월부터 1999년 12월까지 총 10일간 소백산천문대의 61cm 망원경에 액체질소로 냉각되는 PM512 CCD 카메라를 부착하여 수행하였다. 이때 사용한 필터는 Johnson 측광계와 근사한 유효파장을 보이는 *BVR* 필터이다. AB And의 측광관측에 사용된 비교성은 BD +35° 4972로, 여러 관측자(Landolt 1969, Rigtterink 1973, Demircan *et al.* 1994a)들에 의해 밝기변화가 없는 것으로 알려진 항성이다. 이 연구에서 수행된 CCD 측광은 박남규(1993)에 의해서 기술된 방법을 따랐고, 총 10일간의 관측으로 총 1813점(청색: 609점, 황색: 615점, 적색: 589점)의 원시자료를 얻었다. 모든 관측자료는 태양중심시각과 대기감광량을 보정하여 *HJD* 대 Δmag (변광성-비교성)으로 환산되었다.

우리는 AB And의 측광관측으로부터 각 필터별로 극심시각을 Kwee & van Woerden(1956)의 방법으로 산출한 후, 각 필터별 극심시각을 가중 평균하여 총 8개(주극심 4개, 부극심 4개)의 새로운 극심시각을 표 1에 수록한 바와 같이 결정하였다. AB And의 궤도 공전주기가 변하기 때문에, 이 연구에서는 최근의 관측자료에 맞는 새로운 광도요소를 구하기 위하여 HJD2450019 이후에 관측된 극심시각들을 이용하여 최소제곱법으로

$$\text{Min } I = \text{HJD } 2450019.8283(2) + 0.^d331892061(2)E \quad (1)$$

와 같은 새로운 광도요소를 구하고, 이 광도요소를 이용하여 그린 AB And의 광도곡선을 그림 1에 제시하였다. 이 그림에서 보듯이, 우리의 광도곡선은 세 관측계절 동안 전 위상에 걸쳐 관측되었고,

표 1. AB And의 관측된 극심사각.

극심사각 ^a	필터	형태	가중 평균치 ^a	극심사각 ^a	필터	형태	가중 평균치 ^a
50072.9309 ±1	B	I	50072.9310 ±1	50087.0359 ±5	B	II	50087.0360 ±3
50072.9310 ±1	V	I		50087.0361 ±2	V	II	
50072.9312 ±1	R	I		50087.0360 ±2	R	II	
50095.0011 ±3	B	II	50095.0010 ±1	50386.0707 ±2	B	II	50386.0706 ±2
50095.0010 ±1	V	II		50386.0706 ±2	V	II	
50095.0010 ±1	R	II		50386.0705 ±2	R	II	
50386.2352 ±4	B	I	50386.2361 ±2	51468.2059 ±2	B	I	51468.2060 ±1
50386.2361 ±1	V	I		51468.2061 ±1	V	I	
50386.2367 ±2	R	I		51468.2060 ±1	R	I	
51479.1572 ±6	B	I	51479.1580 ±4	51542.0530 ±4	B	II	51542.0529 ±3
51479.1576 ±5	V	I		51542.0530 ±3	V	II	
51479.1583 ±3	R	I		51542.0528 ±2	R	II	

^a: HJD2400000+

각 필터별 광도곡선이 비대칭임을 알 수 있다. 표 2에 특정 위상에서의 필터별 광도를 제시하였다. 특이한 것은 이 쌍성계의 전체 밝기가 1995년에서 1999년으로 가면서 점점 더 어두워지고 있다는 점이다. 이러한 밝기감소가 사용한 비교성(BD +35° 4972)의 조직적 밝기변화에 의한 것일 수도 있기 때문에 관측자료를 재조사하였으나, 그림 1에 보이는 밝기감소를 초래할 만한 비교성의 밝기증가는 없었다. 그런데, 그림 1에서 위상이 0.35에서 0.5 부근까지의 밝기를 보면 3년치의 광도가 거의 일치하는데, 이는 다른 위상에서의 밝기변화가 AB And계 자체의 밝기변화에 의한 것임을 강력히 시사한다. 만약 비교성의 년도별 밝기증가 때문에 AB And의 밝기감소가 일어났다면, 그러한 밝기변화는 위상에 독립적일 것이다.

3. 흑점모델과 광도곡선의 분석

AB And는 매 관측계절마다 광도변화를 보이는 W UMa형 접촉 식쌍성이고, 이 원인이 항성 표면에서의 흑점활동에 의한 것으로 여겨진다. 우리는 이 쌍성계의 광도곡선을 분석하기 위하여, WD 프로그램(Wilson 1992)을 이용하여 우리가 관측한 3년의 광도곡선 중 1996년의 광도곡선을 기준 광도곡선으로 선정하여 측광해를 산출한 후, 흑점인자(Kang & Wilson 1989)만을 조정하여 1995년과 1999년의 광도곡선을 분석하였다. 1996년의 광도곡선을 기준 광도곡선으로 선택한 것은 관측점들이 전 위상에 걸쳐 골고루 분포할 뿐만 아니라, 다른 광도곡선보다 비교적 짧은 시간에 관측되어 흑점이

표 2. 특정 위상에서의 AB And의 광도.

년도	필터	위상			
		0.0(mag)	0.25(mag)	0.5(mag)	0.75(mag)
1995	B	0.442	-0.464	0.231	-0.487
	V	0.363	-0.484	0.194	-0.487
	R	0.313	-0.517	0.152	-0.514
1996	B	0.509	-0.445	0.250	-0.420
	V	0.415	-0.475	0.194	-0.463
	R	0.361	-0.489	0.165	-0.482
1999	B	0.533	-0.407	0.275	-0.400
	V	0.469	-0.439	0.235	-0.420
	R	0.412	-0.462	0.190	-0.451

외의 원인에 의한 영향이 적을 것으로 생각하였기 때문이다. 1995년의 광도곡선은 청색 광도곡선이 다른 파장의 광도곡선에 비하여 큰 광도변화를 보이고, 1999년의 광도곡선은 전 위상에서 걸쳐 관측하지 못했다.

1996년 광도곡선을 이용하여 AB And의 측광해를 산출하기 위하여 WD 프로그램의 Mode 3을 사용하였고, 반사효과와 비선형 주연감광법칙을 고려하여 광도곡선을 분석하였다. 우리는 WD 프로그램의 인자 중에서 반성의 온도(T_2), 주연감광계수($x_1=x_2, y_1=y_2$), 중력감광지수($g_1=g_2$) 그리고 반사율($A_1=A_2$)은 고정인자로 사용하고, 그 외의 다른 인자들은 조정인자로 사용하였다. 반성의 온도는 분광형 G5V를 이용하여 Popper(1980)의 표로부터 결정한 5450K를 사용하였고, 주연감광계수는 Van Hamme(1993)의 표를 보간하여 결정한 비선형 로그함수를 사용하였다. 중력감광지수와 반사율은 주성과 반성이 대류대기에 의해 이루어졌다고 가정하여 각각 0.29(Pantazis & Niarchos 1998)와 0.5(Rucinski 1969)를 사용하였고, 질량비(q), 궤도경사각(i), 포텐셜($\Omega_1=\Omega_2$) 그리고 주성의 온도(T_1)는 Hrivnak(1988)가 산출한 값을 초기치로 사용하였다.

먼저, 항성 표면에 어떤 흑점도 존재하지 않는다고 가정하여 분석한 결과에 의해 계산된 이론적인 광도곡선을 그림 2에 점선으로 나타내었다. 그림 2에서 보듯이 관측된 광도곡선의 비대칭 때문에 위상 0.3~0.4와 0.75 근처에서 관측치가 이론치와 일치하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 광도변화의 원인을 흑점에 의한 것으로 가정하여 광도곡선을 분석하였는데(Kang *et al.* 2002), 이 경우 흑점이 어느 성분에 있는지를 모르기 때문에 4가지 경우(즉, 주성에 cool spot, 또는, hot spot가 존재할 때와 반성에 cool spot, 또는, hot spot가 존재할 때)로 나누어 각각의 해를 구하였다. 이때, 우리는 흑점인자를 고려하지 않은 경우에 산출한 해를 WD 미분보정 프로그램(DC)의 초기값으로 사용하였다. 그 분석결과를 표 3의 2번째 열에서 5번째 열까지 수록하였다.

표 3에서 보듯이, cool spot보다 hot spot의 경우가 $\sum w_i(O_i - C_i)^2$ (이하 W 로 약함)의 값이 인자 1정도 작게 계산되어 hot spot 모델이 관측치에 더 잘 맞는 것으로 나타났다. 같은 hot spot 모델이라도 반성에 hot spot가 있는 경우가 주성에 있는 경우보다 더 작게 W 가 계산되었다. 그런데, hot spot는 물질의 이동에 따른 마찰과 충격에 의해 라그랑지 L_1 점 근처에 존재할 수 있다(Binnendijk 1977). 그렇다면, 반성 표면 위의 hot spot는 이재우(1999)가 제안한 주성에서 반성으로 연속적인

표 3. AB And의 측광학적 해.

인자	1996년 BVR 광도곡선					
	one spot model			two spot model		
	(1) ^a	(2) ^b	(3) ^c	(4) ^d	(5) ^e	(6) ^f
q	1.850(3)	1.832(16)	1.857(13)	1.866(14)	1.859(11)	1.861(5)
$i(^{\circ})$	85.9(1)	85.8(3)	85.5(3)	85.5(3)	85.7(2)	85.7(1)
$T_1(K)$	5880(6)	5878(1)	5875(11)	5873(2)	5870(4)	5872(4)
$T_2(K)^g$	5450	5450	5450	5450	5450	5450
$\Omega_1 = \Omega_2$	4.926(5)	4.897(23)	4.911(18)	4.942(20)	4.919(15)	4.920(6)
Ω_{crit}	5.038	5.012	5.048	5.061	5.051	5.054
$f(\%)$	18.9	19.4	23.1	20.1	22.3	22.6
$g_1 = g_2^g$	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
$X_1 = X_2^g$	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648	0.648
$Y_1 = Y_2^g$	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
$x_{b1} = x_{b2}^g$	0.817	0.817	0.817	0.817	0.817	0.817
$y_{b1} = y_{b2}^g$	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215
$x_{y1} = x_{y2}^g$	0.728	0.728	0.728	0.728	0.728	0.728
$y_{y1} = y_{y2}^g$	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269
$x_{r1} = x_{r2}^g$	0.635	0.635	0.635	0.635	0.635	0.635
$y_{r1} = y_{r2}^g$	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
l_{1b}^h	0.474(2)	0.476(2)	0.474(1)	0.471(2)	0.472(1)	0.472(1)
l_{1y}^h	0.455(1)	0.456(2)	0.454(1)	0.452(2)	0.453(1)	0.453(1)
l_{1r}^h	0.444(1)	0.446(2)	0.443(1)	0.441(1)	0.442(1)	0.442(1)
$r_1(\text{pole})$	0.3172(5)	0.3183(9)	0.3183(7)	0.3170(7)	0.3178(5)	0.3179(3)
$r_1(\text{side})$	0.3331(6)	0.3341(6)	0.3345(8)	0.3328(8)	0.3338(6)	0.3339(4)
$r_1(\text{back})$	0.3735(9)	0.3740(12)	0.3760(12)	0.3729(11)	0.3748(8)	0.3750(7)
\bar{r}_1	0.3413	0.3421	0.3429	0.3409	0.3421	0.3423
$r_2(\text{pole})$	0.4193(4)	0.4171(29)	0.4211(22)	0.4189(25)	0.4201(19)	0.4203(7)
$r_2(\text{side})$	0.4473(6)	0.4446(38)	0.4495(30)	0.4467(37)	0.4482(25)	0.4485(10)
$r_2(\text{back})$	0.4805(8)	0.4777(56)	0.4834(43)	0.4798(48)	0.4817(37)	0.4820(15)
\bar{r}_2	0.4490	0.4465	0.4513	0.4485	0.4500	0.4503
$latitude(^{\circ})$	70.73	92.25	65.15	81.15	43.17 / 61.24	41.98 / 61.91
$longitude(^{\circ})$	218.14	39.94	10.62	227.42	116.76 / 12.28	57.15 / 8.69
$radius(^{\circ})$	17.80	20.20	22.20	20.70	14.76 / 21.15	14.33 / 22.56
T_{spot}/T_{local}	1.100	0.969	1.095	0.965	0.978 / 1.087	0.973 / 1.082
$\Sigma w_i(O_i - C_i)^2$	0.0019	0.0027	0.0014	0.0025	0.0013	0.0013

^a: a hot spot on the primary, ^b: a cool spot on the primary, ^c: a hot spot on the secondary, ^d: a cool spot on the secondary

^e: a cool spot on the primary and a hot spot on the secondary, ^f: a cool spot and a hot spot on the secondary

^g: fixted parameter, ^h: $l_i = L_i / (L_1 + L_2)$

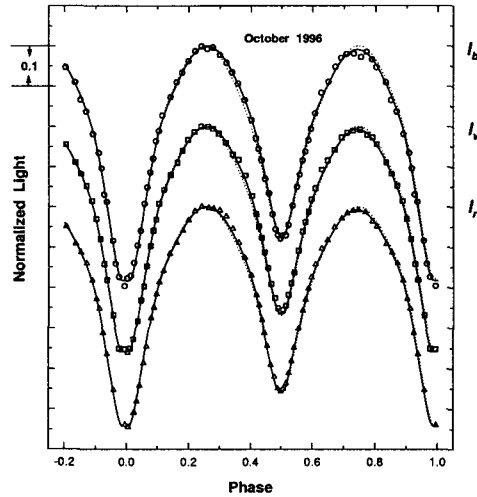


그림 2. AB And의 1996년 광도곡선. 실선과 점선은 흑점을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 모델 광도곡선을 각각 나타낸다.

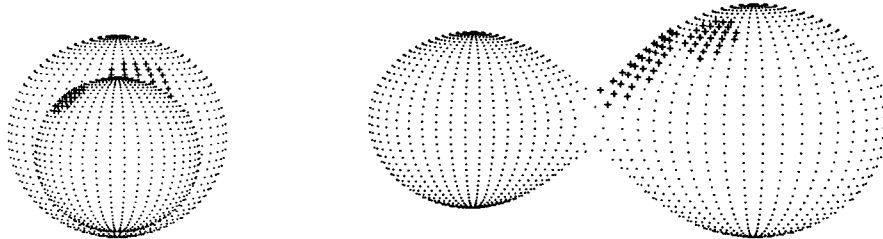


그림 3. AB And의 로쉬모형. 왼쪽 그림은 위상 0.5에서의 로쉬모형으로 주성 표면 위에 cool spot이 존재하고 반성 표면 위에 hot spot이 존재하는 경우이고, 오른쪽 그림은 위상 0.25에서의 로쉬모형으로 반성 표면 위에 cool spot과 hot spot가 동시에 존재하는 경우이다. + 기호로 표시된 영역은 항성 흑점을 나타낸다.

질량이동에 의하여 생겨난 것으로 이해할 수 있다. 이 hot spot의 위치와 크기는 짧은 기간동안에는 큰 변화 없이 거의 일정할 것이다. 따라서, 단지 hot spot 모델만으로는 W형 W UMa 접촉쌍성들의 일반적인 성질인 광도변화를 설명할 수 없다. 그러므로, 우리는 이 hot spot 외에도 두 성분 중의 한 성분에 cool spot가 존재한다고 가정하고, 광도곡선을 재분석하였다. 그 결과를 표 3의 6 ~ 7번째 열에 수록하였다. 표 3에서 알 수 있듯이, 두 경우 모두 이론치가 관측치를 잘 만족한다. 그러나, Mullan(1975)에 의하면 W UMa형 접촉쌍성의 경우에 질량이 큰 성분(반성)에서 흑점활동이 활발하기 때문에, 우리는 두 경우 중 반성 표면 위의 cool spot 모델을 채택하였다. 그림 2의 실선은 반성 표면 위에 cool spot과 hot spot가 동시에 존재하는 경우의 이론적인 광도곡선을 그린 것이다. 그림 3은 두 경우의 로쉬모형과 흑점의 위치와 분포를 나타낸다.

우리는 1996년 광도곡선 분석으로부터 산출한 인자들을 고정인자로 사용하고, 반성 표면 위의 cool spot만을 조정인자로 하여 1995년과 1999년의 광도곡선을 분석하였다. 그 결과를 표 4에 수록하고, 그림 4와 5에 실선으로 나타냈는데, 우리의 흑점모델이 관측치를 잘 나타냄을 알 수 있다.

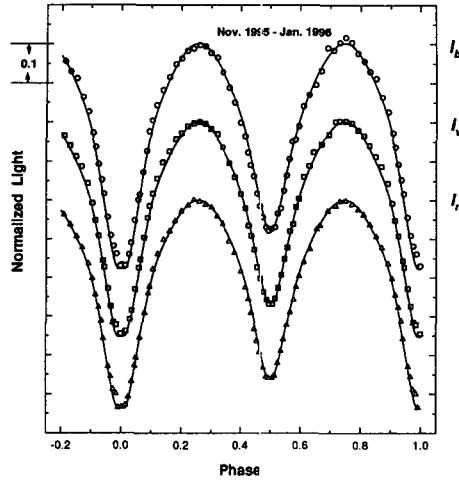


그림 4. AB And의 1995년 광도곡선. 실선은 1996년 광도곡선을 분석하여 산출한 물리 및 기하학적 요소들을 사용하고, 단지 반성 표면 위의 cool spot만을 조정인자로 하여 구한 모델 광도곡선을 나타낸다.

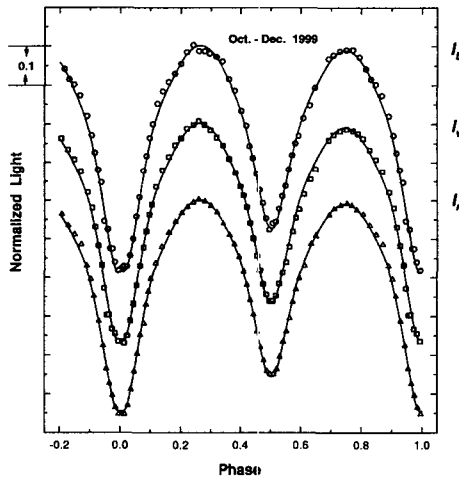


그림 5. AB And의 1999년 광도곡선. 실선은 그림 4의 1995년 광도곡선 분석과 같은 방법으로 구한 이론적인 광도곡선을 나타낸다.

4. 요약

AB And는 질량이 작은 주성이 큰 반성보다 표면온도가 더 커서 주극심에서 가려지는 W형 W UMa 접촉쌍성계이다. 일반적으로, W형 W UMa 접촉쌍성계는 광도변화가 심하고, 광도곡선이 비대칭이며, 질량교환이 일어나는 것으로 생각되고 있다. 진호 등(1997)과 이재우(1999)는 접촉쌍성 AB And가 규칙적인 주기변화 외에도 연속적인 주기증가가 겹쳐서 일어나고, 이 변화의 원인이 주성에서 반성으로의 질량이동에 의해 일어난다고 제안하였다. 그러나, 이전의 연구자들은 주기변화에서

표 4. AB And의 년도별 흑점활동.

spot ^a	1995	1996	1999
latitude(°)	64.13	41.98	75.57
longitude(°)	27.83	57.15	196.55
radius(°)	15.31	14.33	14.23
T_{spot}/T_{local}	0.900	0.973	0.982

^a: 반성 표면 위의 cool spot

유추한 질량이동 등에 대한 고려 없이 광도변화의 원인을 성분별의 표면에 cool spot가 존재한다고 가정하여 광도곡선을 분석하였다. 따라서, 우리는 한 천문대에서 같은 망원경과 관측장비를 가지고 세 관측계절에 걸쳐 완성한 광도곡선의 분석을 통하여 이 쌍성계에 풀리지 않고 남아있는 광도변화에 대하여 살펴보았다.

이 연구에서 우리가 관측한 3년의 광도곡선 중 1996년 광도곡선을 기준 광도곡선으로 선정하여 WD 쌍성모델의 접촉모드인 Mode 3을 사용하여 광도곡선을 분석하였다. 이 분석에서 광도곡선 비대칭의 원인을 흑점의 존재에 의한 것으로 가정하여 가능한 4가지 경우에 대하여 광도곡선을 분석하여 W 가 가장 작은 경우를 이 쌍성계의 측광해로 결정하였다. 그 결과, 반성 표면 위에 hot spot가 존재하는 경우가 그렇지 않은 경우보다 이론치가 관측치와 더 잘 일치한다. 이 hot spot는 이재우가 제안한 것처럼, 질량이동에 의한 것으로 생각된다. 그러나, 연속적인 질량교환에 의해서 생겨난 반성 표면 위의 hot spot는 그 위치와 크기가 거의 일정하기 때문에, AB And의 심한 광도변화를 설명하기 어렵다. 따라서, 반성 표면 위에 hot spot를 고정시키고, cool spot가 주성 표면 위에 있는 경우와 반성 표면 위에 있는 경우로 나누어 광도곡선을 재분석하였다. 그 결과, 두 경우 모두 이론치가 관측치를 잘 만족한다. 그러나, W UMa형 접촉쌍성계의 경우에 질량이 큰 성분에서 흑점활동이 활발하다고 생각되기 때문에, 우리는 두 경우 중 반성 표면 위에 hot spot과 cool spot가 동시에 존재하는 경우를 AB And의 타당한 흑점모델로 선택하였다.

우리는 1996년 광도곡선 분석으로부터 산출한 측광해 중에서 반성 표면 위의 cool spot만을 조정하여 1995년과 1999년의 광도곡선을 잘 맞추는 흑점모형을 만들 수 있었다. 따라서 우리는 W형 W UMa 접촉쌍성 AB And의 광도변화는 가능한 여러 흑점 모형 중에서도 hot spot과 cool spot가 반성 표면 위에 동시에 존재해서 일어난다고 해석할 수 있다.

감사의 글: 관측에 도움을 준 소백산천문대 관계자들에게 감사를 드립니다. 이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구 되었습니다(과제번호: KRF-2002-015-CP0150).

참고문헌

- 박남규 1993, 천문학논총, 8, 185
 이재우 1999, 석사학위논문, 충북대학교
 진호, 한원용, 김천휘, 이재우, 이우백 1997, 한국우주과학회지, 14, 242
 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
- Binnendijk, L. 1977, *Vistas Astron.*, 21, 359
- Demircan, O., Derman, E., Akalin, A., Selam, S. & Müyessoroğlu, Z. 1994a, *A&AS*, 267, 19
- Demircan, O., Derman, E., Akalin, A., Selam, S. & Müyessoroğlu, Z. 1994b, *MNRAS*, 267, 19
- Djurašević, G., Rovithis-Livaniou, H. & Rovithis, P. 2000, *A&AS*, 364, 543
- 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
- Kalimeris, A., Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P., Oprescu, G., Dumitrescu, A. & Suran, M. D. 1994, *A&A*, 291, 765
- Kang, Y. W. & Wilson, R. E. 1989, *AJ*, 97, 848
- Kang, Y. W., Oh, K. -D., Kim, C. -H., Hwang, C., Kim, H. -I. & Lee, W. -B. 2002, *MNRAS*, 331, 707
- Kopal, Z. & Shapley, M. B. 1956, *Jodrell Bank Ann.*, 1, 141
- Kwee, K. K. & van Woerden, H. 1956, *BAN*, 12, 327
- Landolt, A. U. 1969, *AJ*, 74, 1078
- Lucy, L. B. 1973, *Ap&SS*, 22, 381
- Maupomé, L., Rodríguez, E., Hobart M. A., Peña, J. H. & Peniche, R. 1991, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 22, 235
- Mochnecki, S. W. 1981, *ApJ*, 245, 650
- Mullan, B. J. 1975, *ApJ*, 198, 563
- Nellermoe, B. L. & Reitzler, L. E. 1997, *IBVS*, 4477
- Oosterhoff, P. T. 1950, *BAN*, 11, 217
- Panchatsaram, T. & Abhyankar, K. D. 1981, *Bull. Astron. Soc. India*, 9, 243
- Pantazis, G. & Niarchos, P. G. 1998, *A&A*, 335, 199
- Popper, D. M. 1980, *ARA&A*, 18, 115
- Purgathofer, A. & Prochazka, F. 1967, *Wien Mitt.*, 13, 151
- Rigternik, P. V. 1973, *A&AS*, 12, 313
- Rovithis-Livaniou, H. & Rovithis, P. 1981, *Ap&SS*, 76, 465
- Rucinski, S. M. 1969, *A&A*, 19, 245
- Rucinski, S. M. 1974, *AcA*, 24, 119
- Struve, O., Horak, H. G., Ganavaggia, R., Kourganoff, V. & Colacevich, A. 1950, *ApJ*, 111, 658
- Van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 209
- Wilson, R. E. 1992, *Documentation of Eclipsing Binary Computer Model*, ed. K. C. Leung (University of Florida: Lincoln)
- Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605