

W UMa형 접촉쌍성 AH Cancri에 대한 측광학적 연구

윤재혁^{1,2†}, 김호일², 이재우³, 김승리², 성언창², 경재만², 오갑수¹
¹충남대학교 천문우주학과, ²한국천문연구원, ³충북대학교 천문우주학과

PHOTOMETRIC STUDY OF A W UMa TYPE CONTACT BINARY AH CNC

Jae-Hyuck Youn^{1,2†}, Ho-Il Kim², Jae-Woo Lee³, Seung-Lee Kim²,
Eon-Chang Sung², Jae-Mann Kyeong², and Kap-Soo Oh¹

¹Department of Astronomy & Space Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

³Department of Astronomy & Space Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea
E-mail: hal3000@unitel.co.kr

(Received July 10, 2003; Accepted October 7, 2003)

요 약

1998년 12월부터 1999년 5월까지 총 10일간 W UMa형 접촉쌍성 AH Cnc를 소백산천문대의 61cm 망원경과 PM512 CCD 카메라, 그리고 BVI 필터를 사용하여 CCD 측광을 수행하였다. 새롭게 얻은 BVI 광도곡선을 Wilson-Devinney 쌍성모델의 Mode 3(접촉형)으로 분석해서 측광해를 구하고 Roche 모형을 얻었다. 지금까지 발표된 모든 극심시각들과 이번 관측자료를 사용하여 얻은 ($O - C$)도를 분석해서 영년주기 증가율과 질량이동률을 계산하였다.

ABSTRACT

CCD photometric observations of a W UMa type contact binary AH Cnc were performed for ten nights from December 1998 to May 1999 using a PM512 CCD camera and BVI filters attached to the 61cm reflector at Sobaeksan Optical Astronomy Observatory. New BVI light curves were analyzed with contact Mode 3 of the Wilson-Devinney binary model. We obtained photometric solutions and Roche geometry of this binary system. Through the analysis of the ($O - C$) diagram with all times of minimum light published so far and including hour's secular variations of orbital period and the mass transfer rate were calculated.

Keywords: CCD observation, eclipsing binary, AH Cnc, photometric solution

1. 서 론

산개성단 M67(NGC 2628) 내에 있는 W UMa형 접촉 식쌍성 AH Cnc(SVS 1284)는 Kurochkin(1960a,b)에 의하여 변광성으로 발표되었다. 그는 이 변광성의 주기가 0^d.15인 RR Lyr 혹은 Cepheid형 변광성으로 분류하였다. 그러나 Efremov *et al.*(1964)의 색-등급도를 이용한 M67 주

[†]corresponding author

계열에서의 위치 연구와 Kurochkin(1965)의 사진 광도곡선 분석으로부터 AH Cnc는 M67의 구성원이며 주기가 $0^d.3604364$, 진폭이 약 $0^m.425$ 이고 식이 없을 때의 분광형이 G0이고 온도가 6000K인 W UMa형 접촉 식쌍성으로 확인되었다. 한편 Mammano(1965)는 분광형을 F5~F7으로 분류하였다. Binnendijk(1970)은 그때까지 다른 연구자들에 의해 관측된 AH Cnc의 관측자료를 분석함으로써, 이 쌍성계는 주극심에서 온도가 높고 크기가 작은 주성이 온도가 낮고 크기가 큰 반성에 의해서 가려지는 W형인 W UMa형 식쌍성이라고 발표하였다. 그리고 Millis(1972)는 BV 광전관측으로 광도곡선을 완성하여 이 쌍성계가 W UMa형 식쌍성임을 확인하였다. Whelan *et al.*(1979)은 그 때까지의 관측 자료들과 자신들이 관측한 광전 및 분광관측 자료를 사용하여 공전주기($0^d.3604364$), 성분별들의 반진폭 시선속도($K_1=100\sim 103$ km/s, $K_2=138\sim 240$ km/s), 분광형(F7V), 질량비($q=0.5$), 궤도경사각($i=65^\circ\sim 68^\circ$) 그리고 절대등급($M_v=3^m.7$)을 산출하였다. 또한 Maceroni *et al.*(1984)는 Whelan *et al.*(1979)의 관측자료를 재분석하여 질량비(1.64), 궤도경사각($62^\circ.94$) 그리고 포텐셜($\Omega=4.494$) 등의 측광해를 구하였다. 이후 관측이 없다가 Gilliland *et al.*(1991)에 의해서 M67에 대한 시계열 CCD 측광관측으로 AH Cnc의 광도곡선이 얻어졌다. 이 때 얻어진 광도곡선은 형태가 A형인 W UMa형 식쌍성으로 보여졌지만, 시계열 관측에 의한 성단의 특성 연구에 목적이 있었기 때문에 광도곡선을 분석하지는 않았다. 그리고 Maceroni & van't Veer(1996)는 그 때까지의 측광 및 분광 관측자료를 종합하여 광도곡선의 형태가 W형인 W UMa형 식쌍성으로 구분을 하였다. 그러나 다른 여러 W UMa형 식쌍성들과의 비교 분석이 목적이었고, Gilliland *et al.*(1991)가 관측한 광도곡선의 형태가 A형을 보이는 것에 대해서는 언급이 없었다. 김승리(1996), Zhou(2001), Sandquist & Shetrone(2001) 그리고 van den Berg *et al.*(2002)에 의해서 광도곡선이 얻어졌으나 이들 역시 M67에 대한 연구가 주목적이었기 때문에 정확한 분석은 없었고, W UMa형 식쌍성이라고만 언급하였다. 또한 Kreiner *et al.*(2001)는 그 때까지의 극심시각들을 수집하여 ($O-C$)도를 그렸다. 그리고 Csizmadia *et al.*(2002)는 Zhou(2001)의 자료를 분석하여 주기를 $0^d.36044098$ 으로 계산하였다. 가장 최근의 관측은 Sandquist & Shetrone(2003)에 의해서 이루어졌다. 그들의 광도곡선은 Gilliland *et al.*(1991)의 광도곡선과 같이 A형 W UMa형 식쌍성의 모습을 보여 주었으며, 이 광도곡선을 분석하여 이전의 결과와는 큰 차이를 보이는 질량비(0.157)와 궤도경사각(86°)을 구하고 광도곡선의 형태가 그 때까지 알려진 W형이 아닌 A형임을 확인했다. 또한 산개성단 M67의 구성원이면서 H-R도에서 주계열의 전환점(turn-off point) 근처에 위치해 있다고 분석하였다. 이와같이 연구자 사이에 광도곡선의 모양과 해가 상반되는 결과를 보이고 있어 이를 확인하고 그 이유를 규명할 필요가 있다고 판단되어 이 연구를 진행하게 되었다.

2. 관측 및 극심시각

AH Cnc의 CCD 측광관측을 1998년 12월부터 1999년 5월까지 총 10일간 소백산천문대의 61cm 망원경에 액체질소로 냉각되는 PM512 CCD 카메라를 부착하여 수행하였다. 이때 사용한 필터는 Johnson 측광계와 근사한 유효파장을 보이는 BVI 필터이다. 관측된 CCD 영상은 일반적으로 사용되는 전처리 방법으로 처리를 하였고, 측광은 Massey & Davis(1992)의 구경측광방법(APPHOT)을 사용하였다.

BVI 필터로 각각 425, 421 그리고 311점의 관측점을 얻었고 표 1에 필터별 관측오차를 제시하

표 1. 필터별 관측오차.

필터	관측오차
<i>B</i>	$\pm 0^m.036$
<i>V</i>	$\pm 0^m.021$
<i>I</i>	$\pm 0^m.025$

표 2. AH Cnc의 관측된 극심시각.

극심시각(HJD)	필터	형태
2451159.3059(± 3)	<i>BV</i>	I
2451177.1469(± 7)	<i>BVI</i>	II
2451177.3275(± 7)	<i>BVI</i>	I
2451179.3103(± 6)	<i>BVI</i>	II
2451273.0268(± 8)	<i>BVI</i>	II

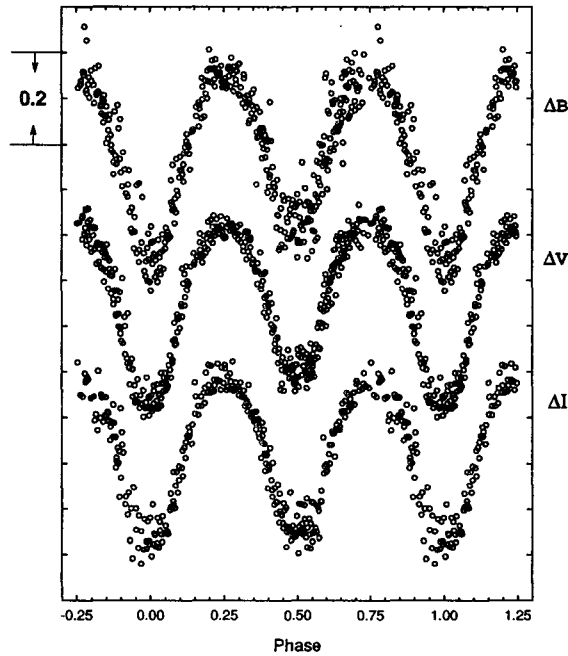


그림 1. AH Cnc의 BVI 광도곡선.

었다. 그리고 극심부근의 관측점들을 사용해서 Kwee & van Woerden(1956) 방법(이하 KW 방법이
라 약함)으로 구한 5개(주극심 2개, 부극심 3개)의 극심시각을 표 2에 제시하였다. 이 극심시각들을
사용하여 새로운 광도요소

$$\text{Min } I = \text{HJD}2451177.3278(2) + 0^d.360447572(5)E \quad (1)$$

를 결정하였다. 그림 1은 식 (1)의 광도요소를 사용하여 작성한 AH Cnc의 광도곡선이다.

표 3. AH Cnc의 ($O - C$)도 분석에 사용된 극심시각.

극심시각(HJD) (240000+)	공전횟수	($O - C$)	방법	형태	참고문헌
33626.364	-10410.0	0.0052	PG	I	Kurochkin(1979)
34421.307	-8204.5	0.0073	PG	II	Kurochkin(1979)
35219.318	-5990.5	0.0125	PG	II	Kurochkin(1979)
36656.352	-2003.5	-0.0157	PG	II	Kurochkin(1979)
37378.322	-0.5	-0.0025	PG	II	Kurochkin(1965)
37699.300	890.0	0.0055	PG	I	Kurochkin(1965)
38820.7850	4001.5	-0.0141	PE	II	Eggen(1967)
39964.300	7174.0	0.0072	PG	I	Kurochkin(1979)
40329.398	8187.0	-0.0204	PG	I	Kurochkin(1979)
40570.9104	8857.0	-0.0028	PE	I	Millis(1972)
40678.323	9155.0	-0.0001	PG	I	Kurochkin(1970)
41396.332	11147.0	0.0104	PG	I	Kurochkin(1970)
42740.9080	12103.0	0.0050	PE	I	Whelan <i>et al.</i> (1979)
41742.8900	12108.5	0.0045	PE	II	Whelan <i>et al.</i> (1979)
41752.8040	12136.0	0.0064	PE	I	Whelan <i>et al.</i> (1979)
41797.6750	12260.5	0.0025	PE	II	Whelan <i>et al.</i> (1979)
41815.6980	12310.5	0.0035	PE	II	Whelan <i>et al.</i> (1979)
42537.300	14312.5	0.0022	PG	II	Kurochkin(1970)
43163.554	16050.0	-0.0112	PG	I	Kurochkin(1970)
43192.214	16129.5	-0.0063	PG	II	Kurochkin(1970)
43256.371	16307.5	-0.0080	PG	II	Kurochkin(1970)
43931.492	18180.5	0.0049	PG	II	Kurochkin(1970)
44015.288	18413.0	-0.0020	PG	I	Kurochkin(1970)
50904.2880	37525.5	-0.0024	CCD	II	BBSAG observer(1998)
51159.3059	38233.0	-0.0009	CCD	I	This paper
51177.1469	38282.5	-0.0020	CCD	II	This paper
51177.3257	38283.0	-0.0035	CCD	I	This paper
51179.3103	38288.5	-0.0013	CCD	II	This paper
51273.0268	38548.5	-0.0011	CCD	II	This paper
51585.1847	39414.5	0.0093	CCDV	II	Csimadia <i>et al.</i> (2002)
51886.8804	40251.5	-0.0029	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
51887.0577	40252.0	-0.0059	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
51890.8459	40262.5	-0.0024	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
51981.9269	40265.5	-0.0027	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
51933.7395	40381.5	-0.0023	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
51933.9186	40382.0	-0.0034	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
51935.9025	40387.5	-0.0020	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
51939.8670	40398.5	-0.0024	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
51940.7683	40401.0	-0.0022	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
51940.9482	40401.5	-0.0025	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
51941.8492	40404.0	-0.0027	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
51959.8715	40454.0	-0.0028	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
51972.6701	40489.5	-0.0002	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52228.9549	41200.5	0.0050	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52296.7179	41388.5	0.0035	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52311.6762	41430.0	0.0031	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
52311.8555	41430.5	0.0022	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52316.7240	41444.0	0.0046	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
52316.9013	41444.5	0.0017	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52352.7695	41544.0	0.0051	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
52378.7220	41616.0	0.0053	CCDV	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
52600.9423	42232.5	0.0082	CCDV	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52657.8945	42390.5	0.0093	CCDI	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52662.9409	42404.5	0.0094	CCDI	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52688.7148	42476.0	0.0111	CCDI	I	Sandquist & Shetrone(2003)*
52688.8962	42476.5	0.0123	CCDI	II	Sandquist & Shetrone(2003)*
52719.7138	42562.0	0.0114	CCDI	I	Sandquist & Shetrone(2003)*

* Sandquist & Shetrone(2003)의 극심시각들은 그들의 자료를 본 연구에서 분석하여 구한 것이다.

표 4. 식 (2)에 의해서 유추된 물리량.

물리량	유추된 값	단위
T_0	2437378.5109 ±10	HJD
P	0.36043671 ±12	day
A	$1.57(\pm 0.02) \times 10^{-10}$	day
dP/dt	3.18×10^{-7}	day/year
\dot{m}_1	5.07×10^{-8}	M_\odot/year
m_1	1.82	M_\odot
m_2	0.34	M_\odot

3. 공전주기 분석

지금까지 AH Cnc의 궤도공전주기 변화에 대한 연구는 없었다. 단지, Kreiner *et al.*(2001)가 다른 연구자들이 관측한 극심시각들을 수집하여($O - C$)도를 작성했을 뿐이다. 우리는 포물선항을 포함한 광도요소

$$C = T_0 + PE + AE^2 \tag{2}$$

을 사용하여 우리의 관측자료로부터 구한 극심시각, Sandquist & Shetrone(2003)의 관측자료를 우리가 분석하여 구한 극심시각 그리고 Kreiner *et al.*(2001)의 극심시각들을 사용하여 곡선 맞추기를 수행하였다. 사용된 모든 극심시각들을 표 3에 제시하였다. 곡선 맞추기를 수행할 때 사진 관측은 1, 그리고 광전 및 CCD 관측은 7.5의 가중치를 주었고, 그 결과를 표 4에 보였다. 이 광도요소를 사용해서 그림 2와 같이 ($O - C$)도를 얻었고, 그림 2의 실선은 식 (2)의 광도요소로 그린 포물선항을 포함한 이론적인 ($O - C$)도이다. 표 4에 AH Cnc 쌍성계가 보전적인 질량이동을 한다는 가정하에 포물선항의 계수(A)로부터 구한 영년 공전주기 증가율(dP/dt)을 보였다. 또한 Maceroni & van't Veer(1996)가 계산한 이 계의 총질량($2.16M_\odot$)을 우리가 얻은 질량비(0.159)를 사용해서 Pringle(1975)의

$$\frac{\Delta P}{P} = 3 \frac{m_1 - m_2}{m_1 m_2} (\dot{m}_1) \tag{3}$$

식으로부터 구한 질량 이동률(\dot{m}_1)과 질량비에 따른 각각의 질량을 표 4에 보였다. 이것은 질량이 작은 반성에서 질량이 큰 주성으로 질량이 이동함을 의미한다.

4. BVI 광도곡선 분석과 Roche 모형

AH Cnc의 BVI 광도곡선을 그림 3과 같이 각각 70개의 대표점으로 만들어 과접촉 쌍성계에 적용되는 Wilson-Devinney 프로그램(Wilson 1990, 1992, 이하 WD라고 약함)의 Mode 3를 사용하여 측광해를 산출하였다. 필터별 대표점들을 표 5에 보였다. WD 프로그램에 사용되는 인자들의 초기 입력 값은 분광관측을 수행한 Whelan *et al.*(1979)과 가장 최근에 CCD 측광관측을 통해서 측광해를 구한 Sandquist & Shetrone(2003)의 연구자료를 참조하였다. 반성의 온도(T_2), 반사율(A_1, A_2), 중력감광

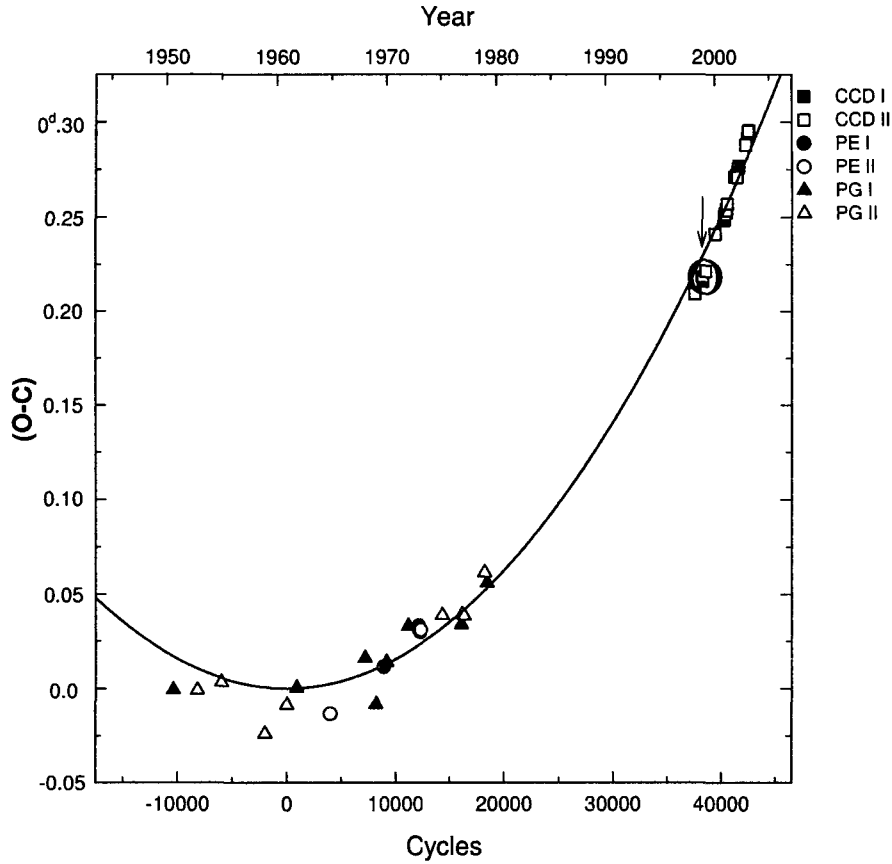


그림 2. 표 4의 선형 광도요소로 작성한 $(O-C)$ 도. 우리의 관측으로부터 구한 극심시각들을 화살표와 큰 원으로 표시하였다. CCD는 CCD 관측, PE는 광전관측, PG는 사진관측으로 구한 극심시각이고, I과 II는 극심시각의 형태를 나타낸다. 실선은 표 4의 포물선항으로 그린 이론적인 곡선이다.

표 5. 측광학적 해를 구하는데 사용된 필터별 대표점들.

B			V			I		
위상	대표점	가중치	위상	대표점	가중치	위상	대표점	가중치
0.0024	0.6965	3.0	0.0045	0.6989	4.0	0.0074	0.7305	3.0
0.0106	0.6955	4.0	0.0153	0.7074	6.0	0.0447	0.7365	4.0
0.0193	0.6711	4.0	0.0263	0.7084	4.0	0.0864	0.8027	3.0
0.0304	0.6846	6.0	0.0358	0.7198	5.0	0.1371	0.8950	4.0
0.0401	0.6967	3.0	0.0463	0.7338	4.0	0.2229	0.9972	6.0
0.0511	0.7083	5.0	0.0558	0.7287	5.0	0.3008	0.9801	6.0
0.0608	0.7222	3.0	0.0659	0.7607	3.0	0.3811	0.8837	8.0
0.0706	0.7663	4.0	0.0746	0.7650	5.0	0.4367	0.7842	3.0
0.0797	0.7742	5.0	0.0838	0.8011	4.0	0.4737	0.7464	5.0
0.0902	0.7930	4.0	0.0942	0.8264	5.0	0.5150	0.7480	4.0

계수(g_1, g_2) 그리고 주연감광계수(x_1, x_2, y_1, y_2)를 고정인자로, 그 외의 다른 인자들은 조정인자로 사용하였다. 주성의 온도는 Whelan *et al.*(1979)의 분광형 F7V와 식이 없을 때의 색지수 $(B-V)=0.53$ 을

표 5. 계속

B			V			I		
위상	대표점	가중치	위상	대표점	가중치	위상	대표점	가중치
0.1009	0.8277	3.0	0.1067	0.8664	4.0	0.5530	0.7418	4.0
0.1166	0.8459	9.0	0.1205	0.8904	8.0	0.5925	0.8519	3.0
0.1360	0.8662	6.0	0.1419	0.9241	4.0	0.6684	0.9496	7.0
0.1587	0.9188	3.0	0.1624	0.9554	6.0	0.7499	1.0079	2.0
0.1735	0.9461	8.0	0.1806	0.9545	7.0	0.8289	0.9538	5.0
0.1961	0.9957	8.0	0.1994	0.9915	8.0	0.9047	0.8524	3.0
0.2161	1.0052	8.0	0.2199	0.9986	9.0	0.9417	0.7485	2.0
0.2357	1.0020	7.0	0.2395	0.9984	7.0	0.9873	0.7158	2.0
0.2542	0.9808	8.0	0.2576	0.9949	6.0	0.0163	0.7255	3.0
0.2752	1.0036	10.0	0.2799	0.9960	6.0	0.0555	0.7384	3.0
0.2975	0.9932	8.0	0.3015	0.9882	6.0	0.0961	0.8171	3.0
0.3173	0.9666	6.0	0.3210	0.9686	6.0	0.1561	0.9529	5.0
0.3350	0.9363	9.0	0.3394	0.9590	10.0	0.2414	0.9970	4.0
0.3561	0.9108	9.0	0.3609	0.9156	8.0	0.3221	0.9556	6.0
0.3769	0.8881	8.0	0.3807	0.8939	8.0	0.3990	0.8421	10.0
0.3949	0.8486	10.0	0.3985	0.8585	10.0	0.4447	0.7595	4.0
0.4090	0.8440	5.0	0.4146	0.8246	5.0	0.4847	0.7341	5.0
0.4208	0.8023	5.0	0.4251	0.8009	4.0	0.5247	0.7477	4.0
0.4318	0.7616	4.0	0.4350	0.7809	4.0	0.5643	0.7502	3.0
0.4412	0.7248	4.0	0.4459	0.7472	5.0	0.6097	0.8573	8.0
0.4495	0.7553	3.0	0.4572	0.7466	4.0	0.6882	0.9588	6.0
0.4582	0.7386	4.0	0.4669	0.7584	4.0	0.7707	0.9811	3.0
0.4698	0.7507	5.0	0.4767	0.7534	4.0	0.8507	0.9317	7.0
0.4800	0.7404	5.0	0.4847	0.7445	5.0	0.9157	0.7831	2.0
0.4885	0.7399	5.0	0.4934	0.7390	6.0	0.9539	0.7397	3.0
0.4994	0.7333	5.0	0.5030	0.7549	4.0	0.9959	0.7364	4.0
0.5089	0.7420	4.0	0.5138	0.7691	5.0	0.0256	0.7289	3.0
0.5197	0.7562	5.0	0.5250	0.7552	5.0	0.0660	0.7665	4.0
0.5305	0.7483	4.0	0.5346	0.7499	6.0	0.1083	0.8515	2.0
0.5405	0.7536	7.0	0.5443	0.7583	6.0	0.1801	0.9714	6.0
0.5489	0.7394	4.0	0.5539	0.7604	6.0	0.2601	0.9992	6.0
0.5598	0.7604	6.0	0.5662	0.7974	4.0	0.3414	0.9404	7.0
0.5707	0.7831	5.0	0.5757	0.8059	6.0	0.4138	0.8126	4.0
0.5797	0.8348	5.0	0.5855	0.8381	5.0	0.4527	0.7628	3.0
0.5899	0.8432	6.0	0.5954	0.8675	6.0	0.4961	0.7377	4.0
0.6001	0.8800	6.0	0.6108	0.8836	12.0	0.5340	0.7483	4.0
0.6145	0.9033	11.0	0.6296	0.9367	10.0	0.5730	0.7549	3.0
0.6331	0.8974	10.0	0.6491	0.9518	12.0	0.6302	0.8947	6.0
0.6536	0.9268	12.0	0.6696	0.9704	11.0	0.7081	0.9879	4.0
0.6744	0.9720	12.0	0.6902	0.9865	8.0	0.7896	0.9895	4.0
0.6949	0.9815	8.0	0.7097	0.9980	8.0	0.8702	0.9103	6.0
0.7145	0.9726	7.0	0.7286	1.0080	3.0	0.9242	0.7784	2.0
0.7528	0.9836	2.0	0.7517	1.0018	3.0	0.9661	0.7278	3.0
0.7729	0.9885	7.0	0.7738	0.9995	6.0	0.0342	0.7395	3.0
0.7945	0.9825	6.0	0.7913	0.9940	6.0	0.0769	0.7896	4.0
0.8157	0.9698	6.0	0.8105	0.9697	7.0	0.1202	0.8708	6.0
0.8358	0.9462	9.0	0.8305	0.9525	7.0	0.2020	0.9940	6.0
0.8551	0.9067	8.0	0.8502	0.9281	9.0	0.2771	0.9994	5.0
0.8751	0.8592	9.0	0.8698	0.8955	9.0	0.3598	0.9177	9.0
0.8943	0.8736	6.0	0.8902	0.8486	11.0	0.4255	0.7810	6.0
0.9097	0.8254	3.0	0.9049	0.8287	3.0	0.4621	0.7408	4.0
0.9201	0.7834	2.0	0.9136	0.8093	3.0	0.5055	0.7399	4.0
0.9298	0.7775	4.0	0.9240	0.7802	4.0	0.5442	0.7422	4.0
0.9401	0.7307	3.0	0.9349	0.7420	4.0	0.5821	0.7873	3.0
0.9506	0.7422	4.0	0.9463	0.7238	4.0	0.6493	0.9253	6.0
0.9626	0.7276	3.0	0.9567	0.7253	3.0	0.7284	0.9922	4.0
0.9716	0.7454	2.0	0.9651	0.7034	3.0	0.8114	0.9381	3.0
0.9814	0.6773	3.0	0.9757	0.7000	4.0	0.8896	0.8712	7.0
0.9914	0.6917	5.0	0.9860	0.7081	4.0	0.9330	0.7461	2.0
0.9990	0.6571	1.0	0.9952	0.7008	4.0	0.9784	0.7315	2.0

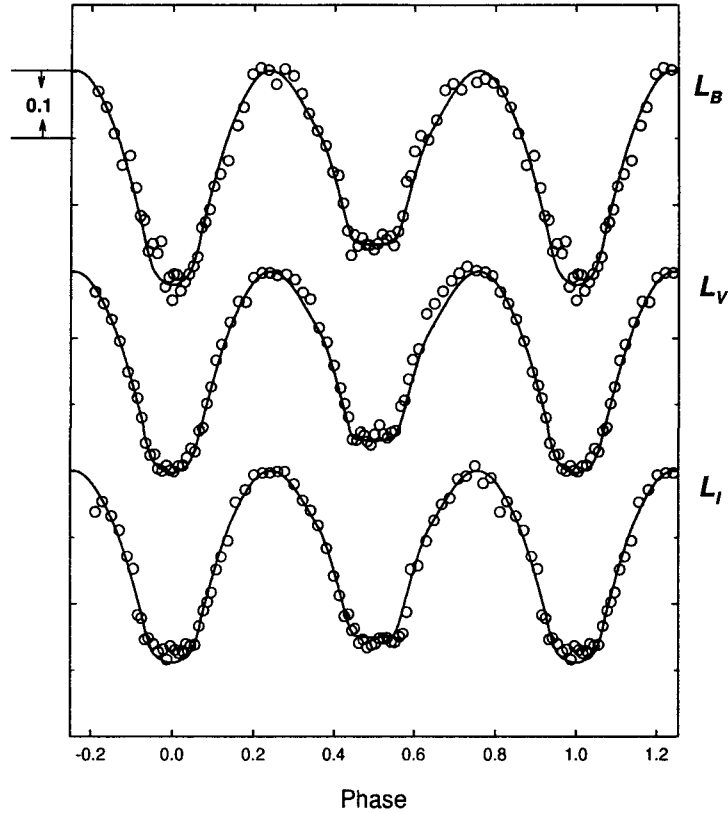


그림 3. AH Cnc의 대표점 광도곡선. 실선은 모델 광도곡선을 나타낸다.

이용하여 Popper(1980)와 Flower(1996)의 표로부터 6300K를 사용하였고, 반사율과 중력감광계수는 주성과 반성이 대류대기를 갖는다고 가정하고 이론값을 사용해서 고정인자로 사용하였다. 주연감광계수는 Van Hamme(1993)의 표를 보간하여 결정한 비선형 로그함수를 사용하였다. 질량비(q)는 Sandquist & Shetrone(2003)가 구한 값의 근처값인 0.16을 사용하였다. 궤도 경사각(i)은 이 쌍성계의 광도곡선이 개기식을 보이므로 90° 근처의 값을 사용하였다. 계산된 측광해를 다른 연구자들의 측광해와 함께 표 6에 수록하였고, 우리가 구한 모델 광도곡선을 그림 3에 실선으로 나타내었다.

AH Cnc 쌍성계의 Roche 모형을 얻기 위해서 표 6에 제시한 질량비, 상대반경($r_{(Pri,Sec)}$) 그리고 표면 퍼텐셜($\Omega_{Pri} = \Omega_{Sec}$)을 사용하여 Roy(1978)가 제시한 방정식을 사용하여 계산한 이 계의 기하학적인 모양을 그림 4와 같이 계산하였다. 그림 4는 두 성분별을 극에서 적도면으로 투영하였을 때의 Roche 모형이다.

5. 요약과 논의

W UMa형 접촉쌍성 AH Cnc에 대한 CCD 측광관측으로부터 완전한 BVI 광도곡선을 얻어 광도요소를 구하고, 우리가 관측으로부터 구한 극심시각, Sandquist & Shetrone(2003)의 관측자료를 이

표 6. AH Cnc의 측광학적 해.

인자	MMR ^a		SS ^b	This paper	
	주성	반성		주성	반성
q	0.61		0.757	0.159±0.001	
$i(^{\circ})$	62.94		0.860	86.0±0.5	
Ω_{in}				2.128	
Ω_{out}				2.026	
Ω	4.494			2.078±0.006	
$f(\%)$	40.7		73	49	
$X_1 = X_2^c$				0.642	
$Y_1 = Y_2^c$				0.240	
$x_{B1} = x_{B2}^c$	0.78			0.805	
$x_{V1} = x_{V2}^c$	0.62			0.712	
$x_{I1} = x_{I2}^c$				0.618	
$y_{B1} = y_{B2}^c$				0.242	
$y_{V1} = y_{V2}^c$				0.279	
$y_{I1} = y_{I2}^c$				0.283	
$g_1 = g_2^c$	0.32			0.320	
$A_1 = A_2^c$	0.50			0.500	
$T(K)$	6416	6500		6300 ^c	6100±18
l_B				10.635	1.824±0.026
l_V				10.621	1.877±0.023
l_I				10.402	1.923±0.020
$l/(l_1 + l_2)_B$	0.374			0.854	0.146
$l/(l_1 + l_2)_V$	0.379			0.850	0.150
$l/(l_1 + l_2)_I$				0.844	0.156
$r(pole)$	0.421	0.340		0.516±0.001	0.233±0.004
$r(side)$	0.450	0.359		0.571±0.002	0.245±0.005
$r(back)$	0.491	0.410		0.596±0.002	0.295±0.013
$r(mean)$	0.454	0.370		0.561	0.258

^aMaceroni et al.(1984)의 측광해이고, 당시에는 W형으로 계산하였기 때문에 주성과 반성의 값의 위치를 바꾸었다.

^bSandquist & Shetrone(2003)의 측광해

^c고정인자

용하여 본 연구에서 구한 극심시각 그리고 Kreiner et al.(2001)의 극심시각들을 분석하여 ($O - C$)도를 구하고 영년 공전주기 변화율과 Maceroni & van't Veer(1996)가 구한 쌍성계의 총질량($2.16M_{\odot}$)과 우리가 얻은 질량비(0.159)를 이용해서 질량 이동률을 계산하였다. 그리고 WD 프로그램의 Mode 3를 이용하여 측광해와 Roche 모형을 얻었다. 분석결과는 질량비 0.159, 궤도경사각 86° , 접촉도(fill-out factor) 49%, 영년주기 증가율 $3.18 \times 10^{-7} \text{ day/year}$ 그리고 질량이동률 $5.07 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{year}$ 인 과접촉 쌍성계이다. 또한, 측광해로부터 그려진 이론적인 광도곡선의 형태에서 볼 수 있듯이 광도곡선의 형태가 W형보다는 A형으로 해석하는 것이 타당하다고 보았다. 이러한 결과들은 Sandquist & Shetrone(2003)이 연구한 내용과 비교하면 거의 비슷하나, 그 이전의 연구자들에 의한 연구와는 상

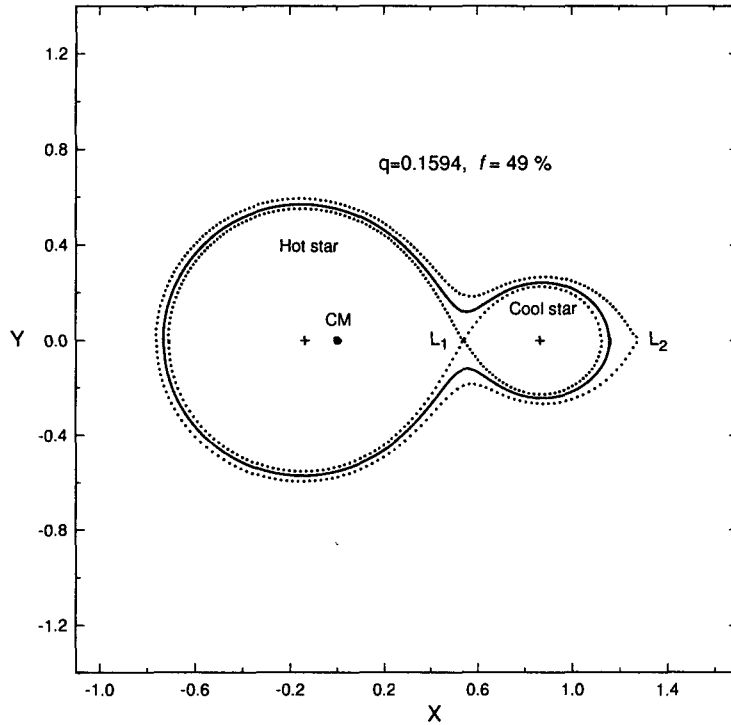


그림 4. AH Cnc의 Roche-geometry.

반되는 결과를 보인다.

Sandquist & Shetrone(2003)는 그들의 연구에서 다른 연구자에 의해 W형으로 분류된 1973년에 관측된 광도곡선을 제시했다. 이 광도곡선을 보면 W형으로 분류하기에는 무리가 있다. 또한 최근에 관측된 광도곡선들을 보면 확실한 A형의 광도곡선을 보여준다. 그래서 AH Cnc의 광도곡선 형태가 지금까지의 연구결과와 같이 W형에서 A형으로 바뀐 것은 진화에 의한 효과라기 보다는 과거의 관측자료가 오차에 의해서 W형으로 보여졌다고 해석하는 것이 보다 타당성이 있다고 생각된다. 물론 Wilson(1978)과 Mochnacki(1981) 등과 같이 A형이 종종 W형의 후반부 진화 단계로 나타날 수 있다는 견해도 있으나, Maceroni & van't Veer(1996)와 같이 A형과 W형 사이에 진화의 연관성이 없다는 견해도 있다. 또한, W형의 진화 후반부에 A형으로 바뀔 수 있다고 하더라도 질량 이동에 의한 진화 척도가 $10^4 \sim 10^7$ 년(Paczynski 1971) 정도여서 불과 20~30년 사이에 광도곡선의 모양이 바뀌는 것에 대한 설명으로는 적당하지 않기 때문이다.

끝으로 AH Cnc에 대한 관측 및 분석은 서론에서 살펴본 바와 같이 1990년대를 전후하여 관측이 없었고 1980년대 이전의 자료는 좋지가 못하다. 또한 Sandquist & Shetrone(2003)에 의하면 AH Cnc는 M67 산개성단의 구성원이면서 H-R도에서 주계열의 전환점 근처에 위치해 있다. 따라서 앞으로 더 많은 정밀한 분광관측과 측광관측이 이루어지면 이 쌍성계의 정확한 물리량들을 알 수 있고 그것들을 바탕으로 성단에 대한 거리 및 나이결정과 같은 연구에도 도움이 될 것이다.

감사의 글: 관측에 도움을 주신 소백산천문대 관계자분들께 감사드립니다.

참고문헌

- 김승리 1996, 박사학위논문, 서울대학교
- BBSAG observer 1998, BBSAG Bulletin, 117, 4
- Binnendijk, L. 1970, *Vistas Astron.*, 12, 217
- Csizmadia, S., Zhou, A. Y., Konyves, V., Varga, Z., & Sandor, Z. 2002, *IBVS*, 5230
- Efremov, Y. N., Kholopov, P. N., Kukarkin, B. V., & Sharof, A. S. 1964, *IBVS*, 75
- Eggen, O. J. 1967, *MmRAS*, 70, 111
- Flower, P. J. 1996, *ApJ*, 469, 355
- Gilliland, R. L., Brown, T. M., Duncan, D. K., Suntzeff, N. B., Lockwood, G. W., Thompson, D. T., Schild, R. E., Jeffrey, W. A., & Penprase, B. E. 1991, *AJ*, 101, 541
- Kreiner, J. M., Kim, C.-H., & Nha, I.-S. 2001, *An Atlas of O-C Diagram of Eclipsing Binary Stars* (Krakow: Pedagogical University), Part 1, pp.374-375
- Kurochkin, N. E. 1960a, *Astron. Tsirk*, 210, 25
- Kurochkin, N. E. 1960b, *Astron. Tsirk*, 212, 9
- Kurochkin, N. E. 1965, *IBVS*, 79
- Kurochkin, N. E. 1970, *Perem. Zvezdy*, 17, 186
- Kurochkin, N. E. 1979, *Astron. Tsirk*, 1076, 4
- Kwee, K. K., & van Woerden, H. 1956, *BAN*, 12, 327
- Maceroni, C., Milano, L., & Russo, G. 1984, *A&AS*, 58, 405
- Maceroni, C., & van't Veer, F. 1996, *A&A*, 311, 523
- Mammano, A. 1965, In *Third Coll. Var. Stars, K1, Veröffentlichungs der Remeis-Sternwarte, Band IV, No.40*, 52
- Massey, P., & Davis, L. E. 1992, *A User's Guide to Stellar Photometry with IRAF*
- Millis, R. L. 1972, *IBVS*, 649
- Mochnecki, S. W. 1981, *ApJ*, 245, 650
- Paczynski, B. 1971, *ARA&A*, 9, 183
- Popper, D. M. 1980, *A&A*, 18, 115
- Pringle, J. E. 1975, *MNRAS*, 170, 633
- Roy, A. E. 1978, *Orbital motion*(John Wiley & Sons: New York), Chapter 5
- Sandquist, E. L., & Shetrone, M. D. 2001, *AAS*, 198, 4201
- Sandquist, E. L., & Shetrone, M. D. 2003, *AJ*, 125, 2173
- van den Berg, M., Stassun, K. G., Verbunt, F., & Mathieu, R. D. 2002, *A&A*, 382, 888
- Van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 2096
- Whelan, J. A. J., Worden, S. P., Rucinski, S. M., & Romanishin, W. 1979, *MNRAS*, 186, 729
- Wilson, R. E. 1978, *ApJ*, 224, 885

Wilson, R. E. 1990, *ApJ*, 356, 613

Wilson, R. E. 1992, *Documentation of Eclipsing Binary Computer Model*, ed. K. C. Leung (Lincoln: University of Florida)

Zhou, A.-Y. 2001, *IBVS*, 5096