

## 근접촉쌍성 AX Draconis의 광도곡선과 로쉬모형

김호일<sup>1†</sup>, 이재우<sup>1,2</sup>, 김천휘<sup>2</sup>, 윤재혁<sup>1</sup>, 이우백<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원, <sup>2</sup>충북대학교 자연과학대학 천문우주학과, 기초과학연구소

### LIGHT CURVES AND ROCHE CONFIGURATIONS OF NEAR-CONTACT BINARY AX DRACONIS

Ho-Il Kim<sup>1†</sup>, Jae Woo Lee<sup>1,2</sup>, Chun-Hwey Kim<sup>2</sup>, Jae-Hyuk Yoon<sup>1</sup>, and Woo-Baik Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

<sup>2</sup>Department of Astronomy & Space Science, College of Natural Sciences and Institute  
for Basic Science Research, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

E-mail: hikim@kao.re.kr

(Received October 28, 2003; Accepted November 10, 2003)

#### 요 약

2001년 3월부터 5월까지 총 11일간 소백산천문대의 61cm 망원경과 VR 필터를 사용하여 근접  
촉쌍성 AX Dra의 광도곡선을 완성하였다. 우리의 관측으로부터 7개(주극심 3개, 부극심 4개)의  
새로운 극심시각과 최근의 관측자료에 맞는 광도요소를 결정하였다. Wilson-Devinney 쌍성모델  
과 q-search 방법을 이용하여, 우리의 VR 광도곡선을 다양한 로쉬모형과 질량비에 대하여 분석  
하였다. 그 결과, 우리는 식쌍성 AX Dra가 분리형이거나 반성은 로쉬로브를 채우고 주성은 거  
의 채운 준분리형인 FO Vir형 근접촉쌍성계임을 알아내었다. 또한, FO Vir형 근접촉쌍성계의  
통계적인 연구(Shaw 1994)와 달리, 우리의 VR 광도곡선은 모두 같은 형태의 O'Connell 효과를  
보이고 있으며 그 크기는 약  $0^m.008$  정도이다.

#### ABSTRACT

We completed the light curves of near-contact binary system AX Dra for 11 nights  
from March 2001 to May using the 61-cm reflector and VR filters at Sobaeksan  
Optical Astronomy Observatory. From our observations, seven new times of minimum  
light (three timings for primary eclipse, four for secondary) and the light elements  
consistent with recent observations were determined. Using the Wilson-Devinney  
binary code and the q-search method, we analyzed our VR light curves for various  
Roche configurations and mass ratios. As the results, we found the eclipsing binary  
AX Dra to be the FO Vir-type near-contact binary system interpreted as a detached  
or a semi-detached system, with the secondary filling its Roche lobe and the primary  
almost. Unlike the statistical study(Shaw 1994) of the FO Vir-type near-contact  
binary system, our VR light curves showed the O'Connell effect of all the same type  
and its dimensions was about  $0^m.008$ .

*Keywords:* eclipsing binary, AX Dra, photometry, Roche configuration, spot

---

<sup>†</sup>corresponding author

## 1. 서 론

근접쌍성은 주성의 분광형이 A형이나 F형이고, 공전주기가 1일미만인  $\beta$  Lyr (EB)형 광도곡선을 보이는 근접쌍성의 새로운 집단이다. 또한, 대부분 O'Connell 효과를 보이고 있으며, 연구자에 따라 접촉형, 준분리형, 혹은 분리형의 다양한 로쉬모형으로 해석된다. Shaw *et al.*(1996)는 근접쌍성들이 A형 접촉쌍성과 유사한 특징을 보이기 때문에, 쌍성의 진화과정 중 A형 W UMa 쌍성의 모체이며 빠른 질량교환을 일으키기 전단계의 쌍성이라고 주장하고 있다. 근접쌍성계는 로쉬모형과 광도곡선에 의해 V1010 Oph형과 FO Vir형의 두 종류로 분류된다. V1010 Oph형은 질량이 큰 주성이 로쉬로브를 채우는 준분리형 쌍성계로 광도곡선에서 O'Connell 효과를 보이는 반면에, FO Vir형은 질량이 작은 반성이 로쉬로브를 채우고 이 효과를 거의 보이지 않는 근접쌍성계이다.

우리는 쌍성의 진화과정을 이해하는데 있어서 중요한 연결고리 역할을 하는 근접쌍성 중에서 신뢰할만한 광도곡선뿐만 아니라 정확한 로쉬모형이 알려져 있지 않고, 단지 Shaw(1994)에 의해 근접쌍성으로 제시된 AX Dra(BV40,  $V=10^m.9$ )를 우리의 연구대상으로 선정하였다. AX Dra는 Kippenhahn(1955)에 의해 변광 의심 천체로 발견된 이후로 사진과 광전관측이 수행되었다. Strohmeier & Knigge(1961)는 사진관측에 의해 광도곡선을 얻고 그들이 산출한 12개의 극심시각들을 이용하여  $0^d.5681644$ 의 주기를 결정하였다. Zhai *et al.*(1989)은 광전관측을 수행하여 얻은 광도곡선으로부터 이 쌍성계가  $\beta$  Lyr형 식쌍성임을 제안하였고, 분광형을 F1+K3로 결정하였다. 불행하게도, 우리는 그들의 관측자료와 연구결과를 얻을 수 없었다. 그 이후, Srivastava(1993)는 이 쌍성계의 (O-C)도를 분석하여, 80년 이상의 규칙적인 주기변화를 가지는 제3천체를 제안하였다.

이상에서 살펴보았듯이, 근접쌍성 AX Dra는 관측이 거의 수행되지 않은 쌍성계로 기본적인 물리 및 기하학적 요소들뿐만 아니라 정확한 로쉬모형이 알려져 있지 않다. 따라서, 이 연구에서는 CCD 측광관측에 의해 새롭게 얻은 AX Dra의 광도곡선을 분석하여 이 쌍성계에 풀리지 않고 남아 있는 로쉬모형과 측광학적 특징을 알아보고자 한다.

## 2. 관측과 극심시각

AX Dra의 CCD 측광관측을 2001년 3월부터 5월까지 총 11일간 소백산천문대의 61cm 망원경에 액체질소로 냉각되는 PM512 CCD 카메라를 부착하여 수행하였다. 이때 사용한 필터는 Johnson 측광계와 근사한 유효파장을 보이는 VR 필터이고, AX Dra의 측광관측에 사용된 비교성은 GSC04168-00570(TYC4168-570-1,  $V=10^m.14$ )이다. 우리의 관측으로 총 1856점( $V$ : 929점,  $R$ : 927점)의 원시자료를 얻었고, 모든 관측자료는 HJD 대  $\Delta mag$ (변광성-비교성)으로 환산되었다. 각 관측치의 확률오차(probable errors)는  $V$ 와  $R$  필터에서 각각  $\pm 0^m.021$ 와  $\pm 0^m.019$ 이다. 우리는 AX Dra의 측광관측으로부터 각 필터별로 극심시각을 Kwee & van Woerden(1956)의 방법으로 산출한 후, 각 필터별 극심시각을 가중 평균하여 총 7개(주극심 3개, 부극심 4개)의 새로운 극심시각을 표 1에 수록한 바와 같이 결정하였다. 이 연구에서는 최근의 관측자료에 맞는 새로운 광도요소를 구하기 위하여 HJD2449810 이후에 관측된 광전과 CCD 극심시각들을 이용하여 최소제곱법으로

$$\text{Min } I = \text{HJD } 2449810.1027(2) + 0.^d568163233(1)E \quad (1)$$

표 1. AX Dra의 관측된 극심시각.

극심시각 <sup>a</sup>	필터	형태	가중 평균치 <sup>a</sup>	극심시각 <sup>a</sup>	필터	형태	가중 평균치 <sup>a</sup>
0.0882 ±3	V	II	0.0877 ±3	41.2803 ±2	V	I	41.2804 ±2
0.0871 ±3	R	II		41.2805 ±2	R	I	
25.0866 ±7	V	II	25.0870 ±7	45.2560 ±2	V	I	45.2564 ±2
25.0874 ±7	R	II		45.2568 ±2	R	I	
26.2248 ±5	V	II	26.2242 ±4	47.2458 ±5	V	II	47.2456 ±4
26.2238 ±4	R	II		47.2454 ±4	R	II	
27.0751 ±3	V	I	27.0751 ±3				
27.0752 ±4	R	I					

<sup>a</sup>HJD2452000+

표 2. 특정 위상과 위상차에서의 AX Dra의 광도<sup>a</sup>.

	위상	V	R	V-R
Min I	0.00	+2.019	+2.036	-0.017
Max I	0.25	+0.937	+1.016	-0.079
Min II	0.50	+1.201	+1.299	-0.098
Max II	0.75	+0.945	+1.024	-0.079
(Max I - Max II)		-0.008	-0.008	+0.000
(Max I - Min I)		-1.082	-1.020	-0.062
(Max I - Min II)		-0.264	-0.283	+0.019
(Max I - Min I)		-1.074	-1.012	-0.062
(Max II - Min II)		-0.256	-0.275	+0.019

<sup>a</sup>특정 위상을 기준으로 ±0.01의 위상간격에 대한 평균치.

와 같은 새로운 광도요소를 구하였다. 그림 1은 식(1)의 광도요소를 이용하여 그린 AX Dra의 광도 곡선이고, 표 2는 특정 위상과 위상차에서의 필터별 광도를 나타낸다. 그림 1과 표 2에서 보듯이, 우리의 광도곡선은 전 위상에 걸쳐 골고루 관측되었고, 위상 0.25가 위상 0.75보다 두 필터 모두에서 약 0<sup>m</sup>.008정도 밝은 O'Connell 효과를 보인다.

### 3. 광도곡선의 분석

AX Dra의 광도곡선을 분석하기 위하여 관측점들을 각 필터별로 식부분은 위상 0.01 간격으로, 그 이외의 부분은 0.02 간격으로 각각 70점의 대표점을 표 3과 같이 구하였다. 이때, 위상 0.25을 기준위상(the phase of normalization)으로 하여 V와 R 관측치에 각각 0<sup>m</sup>.94와 1<sup>m</sup>.02를 더하여 규격

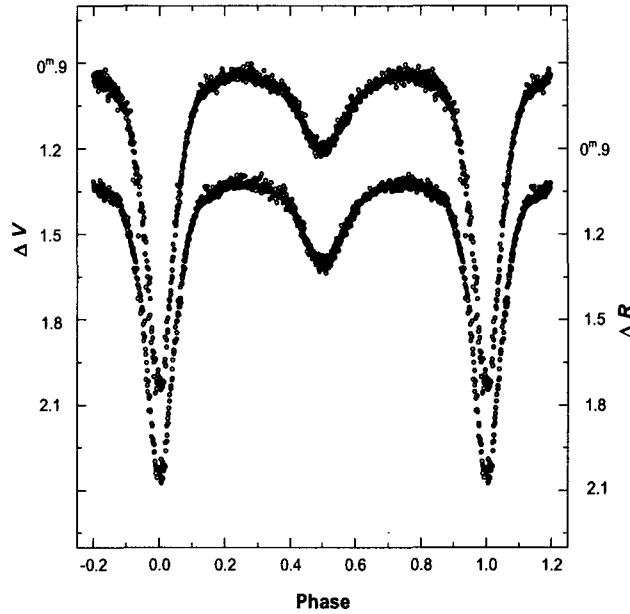


그림 1. AX Dra의 VR 광도곡선.

화시켰다. 표 3에서  $W_t$ 는 각각의 대표점을 계산하기 위해서 사용된 관측점의 개수이다. 작성된 대표점 광도곡선을 이용하여 AX Dra의 측광해를 산출하기 위하여 Wilson-Devinney 쌍성모델(Wilson & Devinney 1971, Wilson 1993, 이하 WD라 약함)을 사용하였다. 서론에서 기술하였듯이, 이 쌍성계는 근접축쌍성계로 분류하고 있으나, 정확한 로쉬모형은 알려져 있지 않다. 따라서, 우리는 AX Dra의 정확한 로쉬모형을 밝히는 것이 이 연구의 중요한 논점이므로, 이를 검증하기 위해 이 쌍성계의 두 성분 모두 등포텐셜면을 채우지 않은 경우(Mode 2, Wilson & Biermann 1976), 주성이 채우고 있는 경우(Mode 4), 반성이 채우고 있는 경우(Mode 5), 그리고 두 성분 모두가 채우고 있는 경우(Mode 3)로 가정하여 광도곡선을 분석하였다.

우리는 WD 프로그램의 인자 중에서 주성의 온도( $T_1$ ), 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. 주성의 온도는 Zhai et al.(1989)의 분광형 F1를 이용하여 Popper(1980)의 표로부터 결정한 7050K를 사용하였고, 주연감광계수는 Van Hamme(1993)의 표를 보간하여 결정한 비선형 로그함수를 사용하였다. 중력감광지수와 반사율은 주성과 반성이 각각 복사대기와 대류대기에 의해 이루어졌다고 가정하여 중력감광지수( $g_1=1.0, g_2=0.32$ )와 반사율( $A_1=1.0, A_2=0.5$ )을 이론값에 의해 고정인자로 사용하였다.

AX Dra는 분광관측이 수행되지 않았을 뿐만 아니라, 이용 가능한 측광해도 존재하지 않기 때문에 질량비를 알 수 없다. 따라서, 이 연구에서는 q-search 방법(Leung et al. 1985)을 이용하여 가중치 제곱합  $\sum w_i(O_i - C_i)^2$ (이하  $W$ 로 약함)이 가장 작은 질량비를 광도곡선 분석의 초기값으로 산출

표 3. AX Dra의 관측 대표점.

Phase	$l_V$	Wt	Phase	$l_V$	Wt	Phase	$l_R$	Wt	Phase	$l_R$	Wt
0.0050	0.3676	9	0.5054	0.7874	11	0.0048	0.3921	9	0.5051	0.7692	10
0.0150	0.3873	7	0.5152	0.7876	11	0.0152	0.4018	8	0.5155	0.7720	14
0.0249	0.4474	9	0.5245	0.7985	12	0.0245	0.4578	7	0.5253	0.7813	10
0.0353	0.5108	8	0.5356	0.8092	16	0.0348	0.5177	8	0.5349	0.7972	13
0.0453	0.5799	8	0.5455	0.8323	14	0.0449	0.5889	8	0.5448	0.8192	17
0.0547	0.6461	11	0.5549	0.8443	16	0.0552	0.6502	12	0.5548	0.8360	15
0.0650	0.7020	12	0.5653	0.8592	16	0.0650	0.7084	10	0.5653	0.8555	17
0.0747	0.7639	10	0.5754	0.8717	14	0.0747	0.7663	10	0.5756	0.8713	14
0.0847	0.8148	9	0.5843	0.8914	13	0.0847	0.8153	9	0.5842	0.8864	11
0.0949	0.8551	10	0.5941	0.9050	14	0.0949	0.8536	10	0.5951	0.9108	14
0.1055	0.8877	10	0.6103	0.9231	19	0.1048	0.8876	9	0.6099	0.9297	16
0.1201	0.9257	18	0.6304	0.9429	13	0.1201	0.9260	20	0.6293	0.9504	14
0.1401	0.9507	20	0.6492	0.9575	14	0.1406	0.9501	19	0.6496	0.9644	15
0.1604	0.9650	16	0.6695	0.9684	15	0.1602	0.9629	16	0.6706	0.9778	15
0.1800	0.9744	19	0.6900	0.9828	14	0.1800	0.9754	19	0.6909	0.9847	14
0.1992	0.9881	15	0.7100	0.9904	19	0.1997	0.9870	16	0.7100	0.9909	21
0.2201	0.9949	15	0.7303	0.9914	20	0.2205	0.9941	14	0.7300	0.9916	21
0.2405	0.9999	13	0.7493	0.9945	19	0.2400	1.0021	13	0.7496	0.9946	20
0.2603	0.9997	11	0.7700	0.9943	17	0.2613	0.9984	11	0.7703	0.9970	18
0.2804	0.9959	15	0.7894	0.9859	21	0.2808	0.9919	14	0.7903	0.9896	21
0.3006	0.9824	13	0.8106	0.9797	24	0.2996	0.9940	13	0.8107	0.9795	22
0.3196	0.9767	13	0.8303	0.9746	22	0.3193	0.9844	15	0.8293	0.9722	22
0.3394	0.9660	16	0.8501	0.9550	20	0.3405	0.9690	16	0.8500	0.9568	19
0.3606	0.9542	15	0.8694	0.9348	19	0.3603	0.9605	13	0.8696	0.9426	21
0.3808	0.9465	14	0.8900	0.9006	15	0.3798	0.9486	15	0.8905	0.8979	15
0.3994	0.9190	19	0.9054	0.8547	10	0.3999	0.9244	20	0.9053	0.8575	10
0.4142	0.8990	9	0.9149	0.8178	10	0.4152	0.8952	9	0.9146	0.8222	9
0.4251	0.8827	12	0.9248	0.7487	11	0.4252	0.8787	11	0.9248	0.7706	11
0.4350	0.8628	10	0.9343	0.6958	8	0.4346	0.8575	11	0.9346	0.7154	7
0.4451	0.8449	11	0.9447	0.6538	9	0.4448	0.8439	12	0.9450	0.6636	8
0.4549	0.8250	12	0.9551	0.5831	8	0.4555	0.8156	13	0.9547	0.5923	8
0.4646	0.8111	11	0.9647	0.5122	7	0.4656	0.8000	11	0.9649	0.5154	8
0.4752	0.7985	14	0.9751	0.4415	9	0.4750	0.7844	11	0.9748	0.4626	7
0.4856	0.7872	11	0.9854	0.3828	7	0.4850	0.7779	13	0.9849	0.4125	9
0.4951	0.7835	9	0.9947	0.3708	8	0.4951	0.7711	9	0.9949	0.3933	7

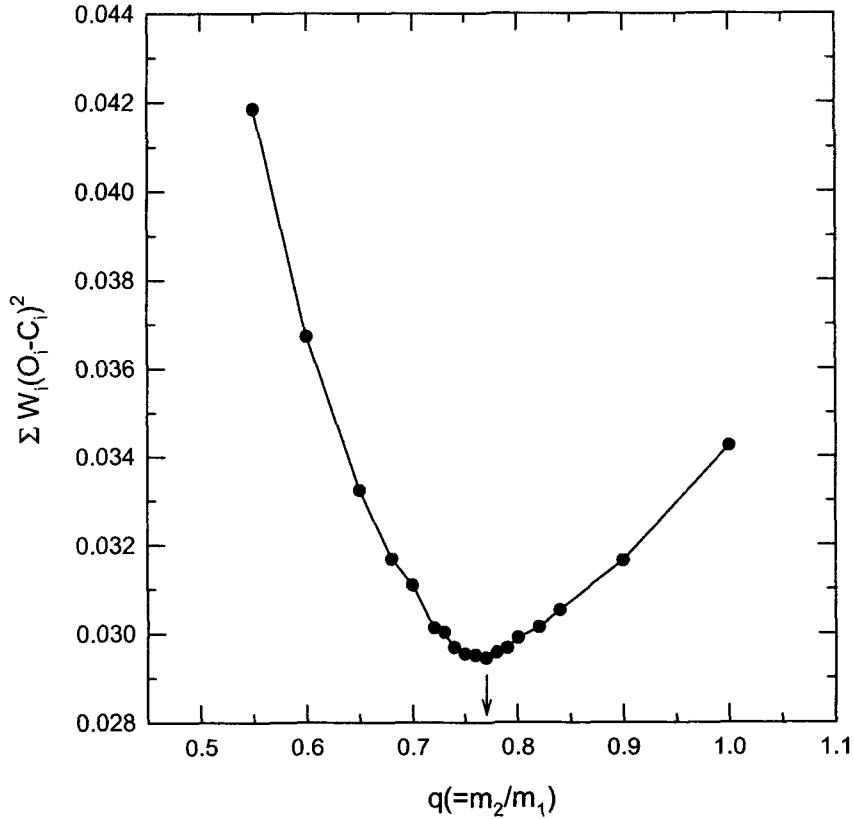


그림 2. AX Dra의 VR 광도곡선을 q-search 방법을 이용하여 다양한 질량비에 따른 가중치 제곱합  $\sum w_i(O_i - C_i)^2$ 으로 나타낸 그림. 화살표는 W가 가장 작은 질량비( $q=0.77$ )를 나타낸다.

하였다. 그 결과, 두 성분 모두 로쉬로브를 채우고 있지 않은 Mode 2와 반성만이 채운 Mode 5의 경우는 질량비가 0.74-0.79 범위에서 만족스러운 해를 나타낸다. 그러나, 두 성분 모두 로쉬로브를 채운 Mode 3과 주성만이 채운 Mode 4의 경우에는 광도곡선을 만족하는 질량비를 찾을 수가 없었고, 분리형 쌍성계나 반성이 로쉬로브를 채우는 준분리형 쌍성계로 수렴하는 오류가 발생하였다. 이 분석에서, 우리는 Srivastava(1993)가 제안한 제 3천체에 의한 광도( $l_3$ )를 조정인자에 포함하여 광도곡선을 분석했지만, 삼체의 광도를 검출할 수 없었다. 그림 2는 반성이 로쉬로브를 채운 Mode 5를 사용한 q-search 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보듯이, W가  $q=0.77$ 에서 가장 작았다.

이 연구에서는 q-search 방법에 의해 산출한 질량비를 조정인자에 포함하고 모든 관측점을 사용하여 Mode 2과 Mode 5에 대하여 광도곡선을 분석하였고, 그 결과를 각각 표 4의 두 번째와 세 번째 열에 수록하였다. 이 표에서 보듯이, AX Dra은 분리형이거나, 반성이 로쉬로브를 채운 준분리형을 만족하는 FO Vir형 근접쌍성계임을 알 수 있다. 그러나, 분리형 모델인 경우, 반성이 로쉬로브를

표 4. AX Dra의 측광학적 해.

인자	Mode 2		Mode 5	
	No spot	No spot	Hot spot <sup>a</sup>	Cool spot <sup>b</sup>
$q$	0.7636(8)	0.764(2)	0.769(2)	0.768(2)
$i(^{\circ})$	80.55(5)	80.51(3)	80.42(3)	80.51(3)
$T_2(K)$	4869(4)	4864(3)	4858(4)	4864(4)
$\Omega_1$	3.743(3)	3.745(3)	3.748(3)	3.745(3)
$\Omega_2$	3.358(3)	3.355	3.364	3.362
$\Omega_{crit}$	3.354	3.355	3.364	3.362
$X_1, Y_1$	0.639, 0.255 <sup>c</sup>	0.639, 0.255 <sup>c</sup>	0.639, 0.255 <sup>c</sup>	0.639, 0.255 <sup>c</sup>
$X_2, Y_2$	0.642, 0.157 <sup>c</sup>	0.642, 0.157 <sup>c</sup>	0.642, 0.157 <sup>c</sup>	0.642, 0.157 <sup>c</sup>
$x_{V1}, y_{V1}$	0.691, 0.290 <sup>c</sup>	0.691, 0.290 <sup>c</sup>	0.691, 0.290 <sup>c</sup>	0.691, 0.290 <sup>c</sup>
$x_{R1}, y_{R1}$	0.593, 0.294 <sup>c</sup>	0.593, 0.294 <sup>c</sup>	0.593, 0.294 <sup>c</sup>	0.593, 0.294 <sup>c</sup>
$x_{V2}, y_{V2}$	0.802, 0.089 <sup>c</sup>	0.802, 0.089 <sup>c</sup>	0.802, 0.089 <sup>c</sup>	0.802, 0.089 <sup>c</sup>
$x_{R2}, y_{R2}$	0.717, 0.158 <sup>c</sup>	0.717, 0.158 <sup>c</sup>	0.717, 0.158 <sup>c</sup>	0.717, 0.158 <sup>c</sup>
$l_{1V}^d$	0.8437(3)	0.8436(4)	0.8444(5)	0.8437(5)
$l_{1R}^d$	0.8143(3)	0.8142(4)	0.8148(4)	0.8142(5)
$r_1$ (pole)	0.3313(1)	0.3312(2)	0.3313(2)	0.3316(2)
$r_1$ (point)	0.3718(2)	0.3717(5)	0.3721(5)	0.3726(5)
$r_1$ (side)	0.3428(1)	0.3427(3)	0.3428(3)	0.3431(3)
$r_1$ (back)	0.3578(1)	0.3577(4)	0.3580(6)	0.3584(4)
$r_2$ (pole)	0.3333(1)	0.3339(2)	0.3343(2)	0.3343(2)
$r_2$ (point)	0.4565(31)	0.4723(3)	0.4729(6)	0.4729(39)
$r_2$ (side)	0.3489(2)	0.3497(2)	0.3501(2)	0.3501(2)
$r_2$ (back)	0.3804(3)	0.3814(2)	0.3818(2)	0.3818(2)
<i>Colatitude</i> ( $^{\circ}$ )			92.9(4)	87.9(3)
<i>Longitude</i> ( $^{\circ}$ )			357.5(5)	317.3(1)
<i>Radius</i> ( $^{\circ}$ )			11.7(9)	11.5(9)
$T_{spot}/T_{local}$			1.052(7)	0.869(21)
$\sum w_i(O_i - C_i)^2$	0.2774	0.2778	0.2751	0.2737

<sup>a</sup> a hot spot on the primary, <sup>b</sup> a cool spot on the secondary, <sup>c</sup> fixed parameter, <sup>d</sup>  $l_i = L_i / (L_1 + L_2)$

약 99.9%정도 채우고 있기 때문에, AX Dra는 분리형 쌍성계보다는 반성이 로쉬로브를 채운 준분리형 쌍성계에 더 가깝다고 우리는 생각한다. 그림 3은 두 모드 각각에 대한 관측치에서 이론치를 빼준 잔차를 나타내는데, 왼쪽과 오른쪽 그림은 각각 Mode 2과 Mode 5를 의미한다. 또한, 그림 4는 관측과 이론치로 그린 AX Dra의 광도곡선과 색 곡선으로 실선은 Mode 5의 결과를 나타낸다.

표 2에서 보듯이, 우리의 VR 광도곡선은 위상 0.25(Max I)가 위상 0.75(Max II)보다 두 펄터 모 두에서 약 0<sup>m</sup>.008정도 밝은 O'Connell 효과를 보인다. 이 연구에서는 이 효과의 원인을 항성표면에서의 흑점활동에 의해 일어난다고 가정하여 광도곡선을 재분석하였다. 이때, AX Dra 표면에서의 흑점활동은 두 가지 원인에 의해 일어날 수 있다. 첫 번째는 이 쌍성계가 반성이 로쉬로브를 채운 준

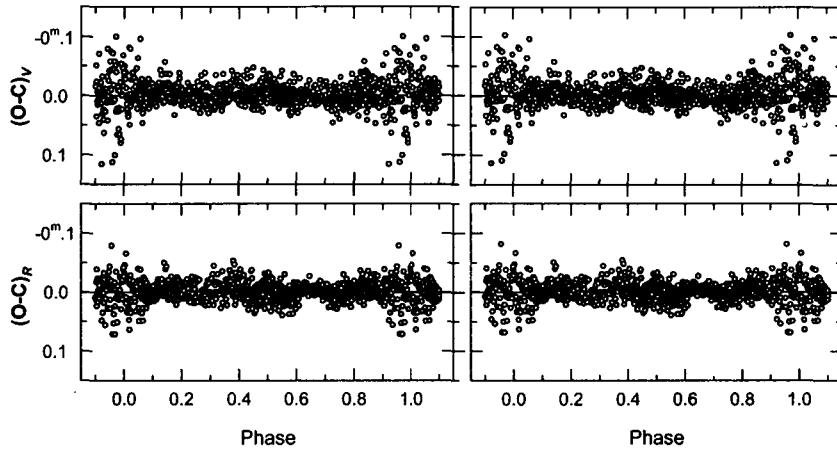


그림 3. 관측점에서 WD 쌍성모델로부터 산출한 표 3의 두 번째와 세 번째 열에 있는 이론치를 빼준 잔차를 나타낸 그림. 왼쪽과 오른쪽 그림은 관측점에서 각각 Mode 2과 Mode 5의 모델치를 빼준 잔차를 나타낸다.

분리형 쌍성계로 해석할 수 있기 때문에, 반성에서 주성으로의 질량이동에 따른 마찰과 충격에 의해 주성 표면 위에 hot spot가 존재하는 경우이고, 두 번째는 대류대기를 가진 반성 표면 위에서의 cool spot가 있는 경우이다. 따라서, 우리는 두 가지 경우에 대하여 광도곡선을 분석하였고, 그 결과를 표 4의 4번째와 5번째 열에 제시하였다. 그러나, 우리의 광도곡선 분석결과 두 경우 모두 관측된 광도곡선을 거의 같은 수준으로 만족시키고 있어 두 흑점모델 중에서 어느 모델이 관측치를 보다 잘 나타내는지 구별할 수는 없었다.

#### 4. 요약

관측이 거의 수행되지 않은 식쌍성 AX Dra는 기본적인 물리 및 기하학적 요소들뿐만 아니라 정확한 로쉬모형이 알려져 있지 않고, 단지 Shaw(1994)에 의해서 근접축쌍성으로만 분류되었다. 따라서, 우리는 AX Dra의 새로운 CCD 광도곡선의 분석을 통하여 이 쌍성계에 풀리지 않고 남아있는 로쉬모형과 측광해를 산출하였다.

우선, 이 연구에서는 WD 쌍성모델과 q-search 방법에 의해 다양한 로쉬모형과 질량비에 대하여 광도곡선을 분석하였다. 그 결과, 우리는 식쌍성 AX Dra가 분리형 혹은 반성이 로쉬로브를 채운 준분리형을 만족하는 FO Vir형 근접축쌍성임을 알 수 있었다. 그러나, 분리형 쌍성모델인 경우 반성이 로쉬로브를 거의 채우기 때문에, 우리는 AX Dra의 로쉬모형이 분리형보다는 준분리형으로 해석하는 것이 더 타당하다고 생각한다.

우리의 광도곡선은 위상 0.25가 0.75보다 약  $0^m.008$ 정도 밝은 O'Connell 효과를 보인다. 만약 이 효과가 관측오차가 아닌 실제 항성의 표면활동때문에 생긴 것이라면, 이 결과는 FO Vir형 근접축쌍성계가 O'Connell 효과를 나타내지 않는다는 Shaw의 통계적인 연구결과와 다르다. 이 연구에서는



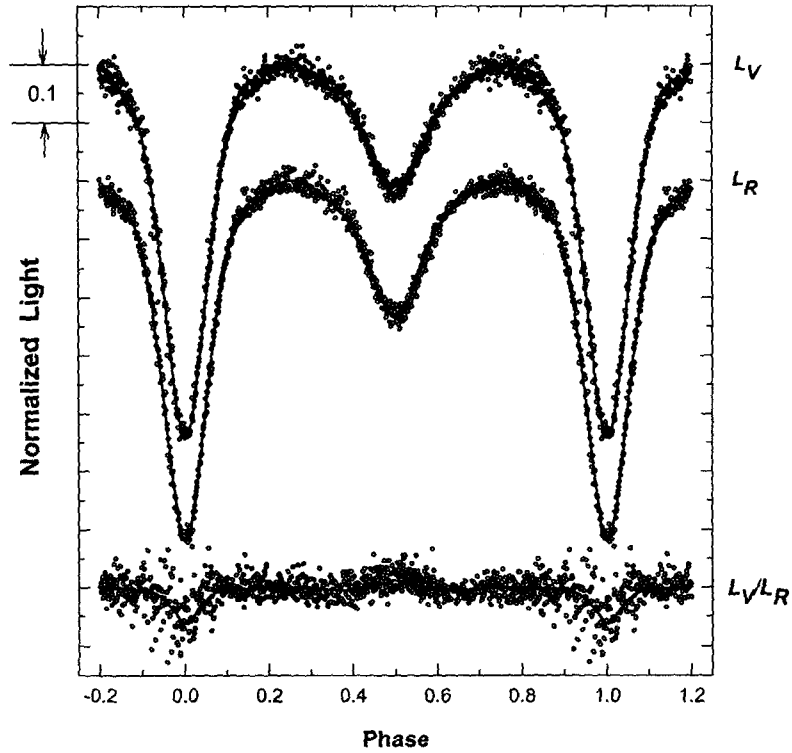


그림 4. AX Dra의 정규화된(normalized) VR 광도곡선과 색 곡선. 실선은 Mode 5의 결과로 그린 모델 광도곡선을 나타낸다.

광도곡선 비대칭의 원인을 주성 표면 위의 hot spot 모델과 반성 표면 위의 cool spot 모델의 두 가지 경우로 가정하여 재분석하였는데, 흑점을 고려하였을 경우와 고려하지 않은 경우의 시스템인자는 거의 같다. 이는 우리의 흑점모델이 AX Dra의 광도 비대칭 효과를 잘 설명하고 있음을 나타낸다. 그러나, 우리의 광도곡선 분석결과는 두 흑점모델 중에서 어느 모델이 관측치와 더 잘 일치하는지 구별할 수는 없다. O'Connell 효과가 크지 않기 때문에, 이 효과를 검증하기 위해서는 짧은 시간동안에 보다 정밀한 측광관측이 수행되어야 할 것으로 보인다. 또한, AX Dra의 정확한 질량비와 절대 물리량을 산출하기 위해서는 분광관측에 의한 시선속도곡선이 절대적으로 필요하다.

**감사의 글:** 관측에 도움을 준 소백산 천문대 관계자들에게 감사를 드립니다. 이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 일부 지원을 받았습니다(과제번호: KRF-2002-015-CP0150).

**참고문헌**

Kippenhahn, R. 1955, Kl. Veröff. Remeis-Sternwarte, Bamberg, No.9  
 Kwee, K. K., & van Woerden, H. 1956, BAN, 12, 327

- Leung, K., Zhai, D., Liu, Q., & Yang, Y. 1985, *AJ*, 90, 115
- Popper, D. M., 1980, *ARA&A*, 18, 115
- Shaw, J. S. 1994, *MmSAI*, 65, 95
- Shaw, J. S., Callault, J.-P., & Schmitt, J. H. M. M. 1996, *ApJ*, 461, 951
- Srivastava, R. K. 1993, *Ap&SS*, 206, 13
- Strohmeier, W., & Knigge, R. 1961, *Veröff. Remeis-Sternwarte, Bamberg* 5, No.11, 3
- Van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 209
- Wilson, R. E. 1993, private communication
- Wilson, R. E., & Biermann, P. 1976, *A&A*, 48, 349
- Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605
- Zhai, D. H., Li, Q. S., & Xie, X. J. 1989, *Chin. Astron. Astrophys.*, 13, 216