

상호작용이 심한 장주기 근접 쌍성계* ** AQ Cas의 측광학적 연구

이용삼·전응우
충북대학교 천문우주학과
(1990년 11월 28일 접수 ; 1991년 4월 8일 수리)

THE PHOTOMETRIC STUDY FOR THE LONG PERIOD INTERACTING CLOSE BINARY AQ CAS

Yong-Sam Lee and Yong-Woo Chun
Dept. of Astronomy and Space Science
Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea
(Received November 28, 1990 ; Accepted April 8, 1991)

Abstract

UBV light curves of an early type close binary AQ Cas are made with the observations obtained at Yonsei University from 1982 to 1989. Light losses in *U* are shown at the phase around 0.55 and 0.90 which might be produced by the stream of mass transfer. Four times of minimum light derived from our observations. With the collected minima including ours, new light elements are determined. Photometric solution with *B* and *V* light curves is made by using Wilson-Devinney codes.

요 약

조기형 근접쌍성 AQ Cas를 1982년부터 1989년까지(총 91일 밤) 연세대학교 천문대 일산관측소에서 관측하여 *UBV* 광도곡선을 완성하였다. *U*의 광도곡선으로부터 두 별 사이에 물질이동으로 인하여 위상 0.55와 0.90근처에서 광도가 어두워지는 현상을 확

* Yonsei University Observatory Contribution No. 95.

** 이 연구는 1989년도 문교부 지원 학술진흥재단의 신진교수 학술조성비에 의하여 연구되었음.

인하였다. 우리의 관측점으로 4개의 식심시각을 결정하였고, 수집한 식심 시각을 가지고 새로운 광도요소를 얻었다. 또한, *BV* 광도곡선을 가지고 Wilson-Devinney 계산법으로 측광 궤도요소들을 구하였다.

I. 서론

질량이 큰 조기형 근접 쌍성계의 궤도 주기는 대체로 며칠 또는 몇십 일이며 주기가 10일 이상인 식쌍성들에 대한 관측은 오랫동안 제외되어 왔다. AQ Cas에 대한 연구의 시작은 Florja and Zessewitch(1931)가 사진관측과 육안관측을 통하여 밝기는 9.0등급이고, 제1식심일 때는 9.8등급이며 광도주기는 11.72일임을 발표하였다. 그 후 Beyer(1936)는 당시까지 수집한 사진관측 자료를 가지고 광도곡선을 만들었다.

Struve(1946)는 분광관측을 통해 시선속도곡선을 만들고 식이 일어나지 않는 부분의 스펙트럼으로부터 주성의 분광형은 B3, 반성의 분광형은 B9으로 정하고 질량함수를 발표하였고, Gaposchkin(1953)은 사진관측으로 만든 광도곡선을 발표하였는데, 제1식심과 제2식심의 광도곡선은 각각 식심전후에서 비대칭하게 보인다. 그가 발표한 분광형은 주성이 A0이고 반성이 F0로 현저한 차이가 있다. 그 후 Gaposchkin(1958)은 또 다시 분광형을 발표하였는데, 주성과 반성의 분광형이 서로 같은 B8이었다. 이와 같이 여러 종류의 분광형에 대하여, Halbedel(1984)은 Struve(1946)의 연구를 인용하면서 주성의 분광형은 He 흡수선의 상태를 볼 때 B3V이며 그 밖의 반성이나 방출선은 찾아보기 힘들다고 하면서, 적어도 분광형만은 조기 B형임을 입증하였다.

AQ Cas의 측광관측자료는 사진관측과 안시관측뿐이었으나 최근 Olson(1985)은 좁은 영역의 필터 *ubvyI*로 관측하여 아직 미완성한 상태이긴 하지만 *u*와 *I*의 최초의 광전측광한 광도곡선을 발표하였다. 여기서 그는 이 별의 광도곡선은 전형적인 β Lyr형으로서 제1식심 전후의 광도곡선은 약 0.1등급 정도의 밝기차가 있는 비대칭현상이 있는데 이것은 질량이동에 의한 것이라고 하였다. 그 후 Olson(1989)은 더 추가한 그의 *ubvyI* 관측을 통하여 물질이동현상으로 주성의 일부가 가려져서 광도곡선의 비대칭 현상이 있게 되고, 이로 인하여 분광형과 온도를 추정하는 데 주는 영향을 보정하면 분광형은 B0-1이며 주성과 반성의 온도는 각각 28,000K와 14,000K이라고 발표하였다.

현재까지 가시광 영역의 관측으로 별 주위에 이동한 물질로 형성된 원반의 정체가 비교적 자세히 규명된 근접쌍성은 극소수에 불과하다(김호일 1989). 이와 같은 별로서 AQ Cas는 조기형 별이며 질량이 큰 별(Gaposchkin 1953)로 이루어진 쌍성간의 상호작용이 큰 별이지만, 공전주기가 길고 어두워서 관측이 어려운 별이기 때문에 아직 *UBV* 표준 3색으로 관측한 광도곡선과 측광 궤도요소의 분석 결과의 발표가 없었다.

II. 광전관측과 광도곡선

UBV광도곡선을 얻기 위해 광전측광 관측에 사용한 기기들은 연세대학교 천문대 일산관측소의 61-cm Goto 반사망원경($f/14$)과 Johnson-Morgan의 표준 filter에 가까운 U, B, V filter와 1P21 광전증배관을 사용한 광전측광기와 자동기록기이다. 하늘의 후광을 차단하기 위해 사용한 diaphragm은 $49''(2\text{mm})$ 이다. AQ Cas의 밝기를 비교하기 위하여 관측한 제1비교성(comparison star)은 BD+60°0186이다.

AQ Cas의 관측기간은 1982년부터 1989년까지 총 관측일 수는 91일 밤이고 관측점 수는 총 504개이며, 그 중 U 관측은 149개, B 관측은 177개, V 관측은 178개이다. 이 관측 중 1984년에 관측한 V 관측은 Nha and Chun(1988)이 발표한 바 있는데, 우리의 연구는 이 관측의 계속이다.

모든 관측점들은 대기흡수를 보정하여 대기권 밖의 기계등급을 구한 후 관측 계절에 따른 표준화 transformation계수를 구하여 표준화하였다. 이 계수는 분광형이 조기형에서 만기형까지 분포된 8개의 UBВ 표준성을 관측하여 얻은 기계등급과 Photoelectric Catalogue(Blanco *et al.* 1968)에서 얻은 값을 가지고 기계등급을 표준등급으로 환산하였다. 그림 1은 $\Delta m(\text{AQ Cas} - \text{제1비교성})$ 로 만든 AQ Cas의 $\Delta V, \Delta B, \Delta U$ 광도곡선이다. 이 광도곡선을 보면 Gaposchkin

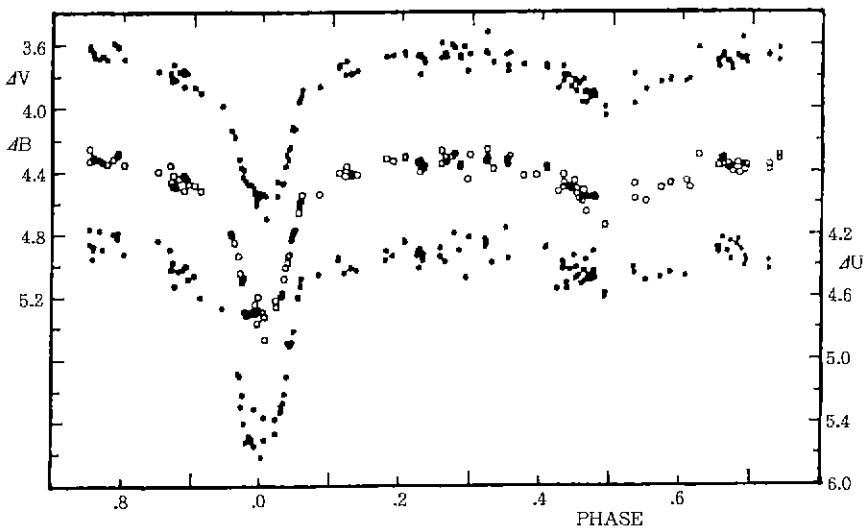


그림 1. $\Delta m(\text{AQ Cas} - \text{제1비교성})$ 로 우리가 만든 AQ Cas의 $\Delta V, \Delta B, \Delta U$ 광도곡선. 1982년부터 1989년까지 연세대학교 천문대 일산관측소에서 관측하였다.

(1953)이나 Olson(1985, 1989)이 밝힌 바와 같이 제1식심 전후의 위상이 0.9와 0.1의 밝기로서로 현저하게 차이를 알 수 있다. 특히 U 의 경우 위상이 0.85부터는 급격히 어두워질 뿐만 아니라 제2식심인 위상 0.5를 지나 식이 벗어나면서도 위상이 0.6 가까이 계속 어두운 상태를 지속하는 경향이 보이는 것은 제1식심이 일어나기 전과 제2식심이 벗어날 때 잠시 주성으로 향하는 물질의 흐름이 시선방향으로 빛을 가리기 때문으로 볼 수 있다.

표 1. AQ Cas의 식심시각

Minimum times JD2,400,000+	$(O-C)_1$ (in days)	$(O-C)_2$ (in days) *		Minimum times JD2,400,000+	$(O-C)_1$ (in days)	$(O-C)_2$ (in days) *	
26235.63	+0.080	+0.062	1	39609.345	+0.229	-0.060	
26282.43	0.0	-0.022	2	40066.508	+0.276	-0.023	
29669.783	+0.007	-0.083	3	40101.558	+0.163	-0.136	
36128.23	+0.227	+0.008	4	40148.476	+0.198	-0.103	
36128.28	+0.277	+0.058	4	41039.335	+0.267	-0.051	
36761.20	+0.268	+0.035	4	42832.69	+0.321	-0.033	6
36597.312	+0.472	+0.243	5	43078.89	+0.382	+0.023	6
37312.361	+0.545	+0.302		46056.032	+0.410	-0.009	7
37347.276	+0.298	+0.054		46032.6131	+0.4329	+0.0147	8
38331.575	+0.039	-0.225		46407.6812	+0.4316	+0.0059	8
38671.494	+0.052	-0.219		47433.339**	+0.509	+0.062	8
39058.453	+0.220	-0.058		47497.7415	+0.4463	-0.0013	8

* 1: Beyer(1936), 2: Florja *et al.*(1931), 3: Gaposchkin(1953),
4: Szafraniec(1958), 5: Szafraniec(1960), 6: Splittgerber(1972),
7: Kreiner *et al.*(1980), 8: Olson(1985), 9: This paper.

** 제2식심 시각.

III. 식심시각과 광도요소의 결정

AQ Cas의 광도요소는 Florja and Zessewitch(1931)의 연구에서 처음 발표되었고 Gaposchkin(1953), Szafraniec(1958, 1960), Splittgerber(1972), Kreiner(1980)는 사진관측과 안시관측으로 식심시각들을 발표하였다. 최근 Olson(1985)은 광전관측으로 1개의 식심시각을 새로 구하였다. 그러나 주기가 길기 때문에 식심 전후의 관측점이 적으므로 그 정밀도가 다른 쌍성계보다 정확지 못한 상태이다. 뿐만 아니라, Olson(1985)의 연구 이전까지의 식심시각의 결정은 안시관측과 사진관측으로 얻은 관측점들로부터 얻은 것이기 때문에 더욱 정밀한 광전측광으로 얻은 식심시각들을 포함해서 새로운 공전 주기를 알려 주는 광도요소가 결정되어야 한다. 최근에 알려진 광도요소는 Wood(1980)와 Olson(1985), 그리고 Kim *et al.*(1988)이 발표한 것

LONG PERIOD INTERACTING CLOSE BINARY AQ CAS

이 있지만, 이 별의 광도요소를 재점검하기 위해 우리의 관측으로부터 4개의 식심시각을 도형적인 방법(graphical method)으로 재결정하였다. 그 중 3개는 제1식심이고 1개는 제2식심 시각이다. 그리고 1930년대의 안시관측에 의한 식심시각들과 여러 사람들이 발표한 식심시각을 우리의 4개의 식심시각과 함께 표 1에 수록하였다. 이 표의 둘째 줄인 $(O-C)_1$ 은 다음과 같은 Wood(1980)의 광도요소

$$\text{Min I} = \text{JD Hel } 2426282.43 + 11^d.72092E \dots\dots\dots(1)$$

의 식(1)을 사용한 값이고, 셋째 줄인 $(O-C)_2$ 는 뒤에 언급할 새로운 광도요소인 식(2)로 계산한 값들이다. 새로 만든 광도요소로 계산한 $(O-C)_2$ 값을 가지고 $O-C$ 도를 그린 것이 그림 2이다. 이 그림에서 보면 열린 원(\circ)으로 표시한 것은 사진이나 안시관측한 것이고, 닫힌 원(\bullet)으로 표시한 것은 광전관측에 의한 것으로 제1식심이며, (\odot)으로 표시한 것은 광전측광으로 얻은 제2식심이다. 그림 2에 나타난 사진과 안시관측의 식심시간은 분산이 심하므로 새로운 광도요소를 계산하는 데 weight를 1.0으로 하고 제1 식심시각의 광전관측은 5.0으로 제2 식심시각의 광전관측자료는 2.0으로 하여 최소자승법으로 계산한 결과 다음 식과 같은 새로운 광도요소

$$\text{Min I} = \text{JD Hel } 2426282.4522 + 11^d.721155E \dots\dots\dots(2)$$

를 얻었다. 새로운 주기는 Wood(1980)의 주기(11.72092일)보다 약간 증가한 것이지만 불행히도 $O-C$ 도는 주로 $O-C$ 값이 크게 분산되어 있는 사진과 안시관측점이 초기에 있고, 정밀한 광전측광 자료는 단기간이고 또 그 수도 작아서 주기 변화를 확인할 수 없는 상태이고 공전주기의 변화의 여부를 판단하기는 아직 어렵다. 그러나 $O-C$ 도를 보면 JD2437000에서 JD2439000 부근에서 급작스런 주기변화가 보이는데, 이것이 관측의 오차로 인한 것이 아니라면 이 주기변화의 원인은 이 쌍성계의 진화과정에서 반성으로부터 질량(물질)의 이동에 기인한 것으로 추측된다. 따라서 이 쌍성계는 앞으로 더욱더 많은 광전측광의 식심시각 관측이 요구되고 있다.

IV. AQ Cas의 측광학적 분석

이미 앞에서 설명한 바대로 AQ Cas는 모든 위상에서 광도변화가 있는 β Lyr 형으로 모든 위상에서 광도변화가 나타나고 있다. 이것은 이 쌍성계의 두 별간의 거리가 상대적으로 근접해 있음을 알려 주는 것이다. 따라서 이 광도곡선의 분석은 근접 쌍성계에 보다 더 정확한

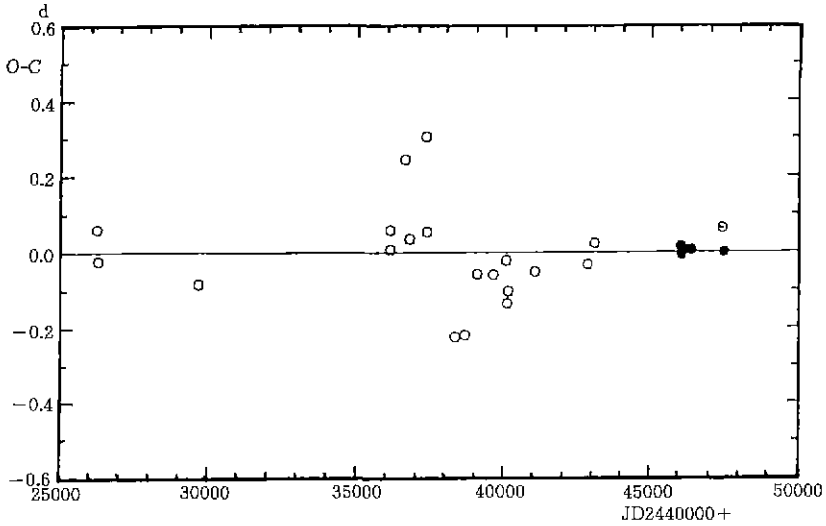


그림 2. AQ Cas의 O-C도. 열린 원(○)으로 표시한 것은 사진이나 안시관측한 것이고 닫힌 원(●)과 (⊙)으로 표시한 것은 각각 광전관측으로 얻은 제1석심과 제2석심이다.

표 2. AQ Cas의 $\Delta(V)$ 와 $\Delta(B)$ 의 대표 관측점(normal points)

Phase	$\Delta(V)$	$w(V)$	Phase	$\Delta(B)$	$w(B)$	Phase	$\Delta(V)$	$w(V)$	Phase	$\Delta(B)$	$w(B)$
0.0045	4.5960	3.0	0.0045	5.3627	3.0	0.4975	3.9905	4.0	0.4975	4.7072	4.0
0.0212	4.5050	2.0	0.0212	5.2405	2.0	0.5362	3.8790	3.0	0.5380	4.5055	4.0
0.0315	4.3834	5.0	0.0315	5.0896	5.0	0.5736	3.8360	4.0	0.5736	4.4930	4.0
0.0421	4.1677	6.0	0.0421	4.8457	6.0	0.6092	3.7347	6.0	0.6092	4.4213	6.0
0.0541	3.9500	4.0	0.0514	4.6178	4.0	0.6511	3.7050	5.0	0.6511	3.3442	5.0
0.0566	3.9070	4.0	0.0566	4.5108	4.0	0.6653	3.7100	5.0	0.6653	4.3602	5.0
0.0823	3.8620	1.0	0.0823	4.5400	1.0	0.6863	3.6720	7.0	0.6863	4.3692	6.0
0.1084	3.7365	2.0	0.1084	4.4060	2.0	0.7312	3.6675	4.0	0.7312	4.3375	4.0
0.1222	3.7630	4.0	0.1222	4.4053	4.0	0.7560	3.6495	6.0	0.7539	4.3005	4.0
0.1385	3.7650	3.0	0.1385	4.3627	3.0	0.7814	3.6336	5.0	0.7787	4.3147	6.0
0.1791	3.6740	3.0	0.1791	4.3203	3.0	0.7991	3.6870	1.0	0.7991	4.3510	1.0
0.2023	3.6590	2.0	0.2023	4.3080	2.0	0.8663	3.7857	6.0	0.8663	4.4355	6.0
0.2264	3.6950	8.0	0.2264	4.3548	8.0	0.8848	3.7868	6.0	0.8848	4.4475	6.0
0.2628	3.6426	7.0	0.2628	4.3084	7.0	0.9075	3.8500	3.0	0.9039	4.4773	4.0
0.2892	3.6717	6.0	0.2893	4.3762	5.0	0.9430	3.9810	1.0	0.9539	4.7965	2.0
0.3343	3.6690	9.0	0.3343	4.3261	9.0	0.9539	4.1370	2.0	0.9626	4.8925	2.0
0.3726	3.7270	1.0	0.3817	4.4230	2.0	0.9626	4.2470	2.0	0.9730	5.1293	4.0
0.4241	3.7897	8.0	0.4241	4.4560	8.0	0.9730	4.4090	4.0	0.9838	5.3060	3.0
0.4504	3.8710	9.0	0.4504	4.5293	9.0	0.9838	4.4847	3.0	0.9916	5.2808	6.0
0.4696	3.9190	9.0	0.4696	4.5708	8.0	0.9916	4.5623	6.0			

LONG PERIOD INTERACTING CLOSE BINARY AQ CAS

형태와 궤도요소를 구할 수 있는 Wilson-Devinney 계산법(Wilson and Devinney 1971)을 사용하였다. 이 계산법을 사용할 때 컴퓨터의 용량과 계산시간을 절약하기 위해 우리의 B와 V의 관측점들을 가지고 V는 40개, B는 39개의 대표점(normal points)을 표 2와 같이 만들어 사용하였다. 이 표에서 $w(V)$ 와 $w(B)$ 는 각각 대표점을 만든 파장별 관측점 수로서, 이 수를 weight로 사용하였다.

표 3. AQ Cas의 측광 궤도요소

궤도요소	DC 프로그램으로 얻은 결과	
$q=m_c/m_h$	0.71*	
i (degrees)	84.15	
Ω_{in}	3.2679	
Ω_{out}	2.8594	
$g_h=g_c$	1.0*	
$A_h=A_c$	1.0*	
	주성(Hot Component)	반성(Cool Component)
Ω_h	5.8562	3.2679
$T(K)$	28,000*	15,975
$r(\text{pole})$	0.194	0.328
$r(\text{point})$	0.197	0.465
$r(\text{side})$	0.195	0.343
$r(\text{back})$	0.196	0.375
$L/(L_h+L_c)(V)$	0.454	0.556
$L/(L_h+L_c)(B)$	0.490	0.510
$X(V)$	0.62*	0.58*
$X(B)$	0.66*	0.74*

* 고정인자(Adapted values)

이 대표점을 가지고 Wilson-Devinney 계산법으로 반 분리형 쌍성계(semi-detached binary)에 적용하는 mode 4를 사용하여 궤도요소를 구하였는데, 우선 이전에 많은 연구자들의 자료들을 가지고 초기 입력자료를 만들고 LC(Light Curve) 프로그램으로 plotting한 이론적인 광도곡선과 관측한 광도곡선을 비교하였다. 그 후 이 두 곡선이 더욱 잘 일치하도록 초기 궤도요소의 근사치를 수정하여 얻은 결과를 DC(Differential Correction) 프로그램의 초기 입력자료로 사용하였다. 계산에 사용하는 인자(parameter)는 다음과 같은 것들인데, 첨자로 사용한 h와 c는 각각 높은 온도와 낮은 온도의 별을 표시한 것이다. 고정 인자들 중에서 우선 주성과 반성의 질량비 $q(m_c/m_h)$ 값은 우리가 DAO(Dominion Astrophysical Observatory)에서 분광 관측하여 얻은 시선속도의 2중곡선(Lee *et al.* 연구중)으로부터 구한 0.71을 사용하였다. 중력

감광계수와 복사반사계수는 별의 대기가 총 복사 대기라고 가정하여 $g_h = g_c = 1.0$, $A_h = A_c = 1.0$ 을 적용하였고, 주변감광계수는 Grygar *et al.*(1972)의 대기모델을 사용하여 $X_h(V) = 0.62$, $X_c(V) = 0.58$, $X_h(B) = 0.66$, $X_c(B) = 0.74$ 을 택하였다. 주성의 온도 T_h 는 Olson(1988)의 연구로부터 결정한 28,000K로 고정하였다. 그의 수정(adjust)되는 인자들은 궤도 경사각 (i), 반성의 온도(T_c), 주성의 밝기 $L(V)$, 포텐셜 Ω_1 이다. 그리고 Ω_c 는 입력된 질량비 q 에 적용되는 내부 임계 포텐셜(Roche lobe)인 Ω_m 값을 초기 값으로 사용하였다. 우리는 이상과 같은 인자들을 가지고 DC프로그램을 사용하여 AV 곡선과 AB 곡선을 동시에 차등 보정 방법에 의하여 계산하였다. 계산은 모든 수정인자의 범위가 오차범위(probable error)보다 적은 값이 되면서 수정인자의 값이 수렴할 때까지 반복하였다. 이상과 같은 방법으로 수렴한 AQ Cas의 궤도요소는 표 3에 수록하였다. 이 궤도요소를 가지고 계산한 이론적인 광도곡선을 실선으로 표시하여 개개의 관측점과 비교해 볼 수 있도록 그림 3을 만들었다. 그 결과 V 곡선은 관측점과 일치한 반면에, B 곡선은 위상 0.5 근처의 관측점들보다 약간 더 밝게 되었다.

표 3에 있는 별들의 상대크기를 이 쌍성계의 위상이 0.25일 때의 모습으로 Roche lobe와 비교해 보도록 그린 것이 그림 4이다. 이 그림은 표 3에 수록한 4방향(극방향, 측면방향, 쌍성계의 중심방향과 반대방향)에서 반경 $r(\text{side})$, $r(\text{point})$, $r(\text{back})$ 의 값을 가지고 작도하여 굵은 실선으로 별을 표시한 것이다. 그림에서 보인 점선은 내부 임계 포텐셜면을 나타내고 있다.

V. 검토 및 결론

장주기 식쌍성 중에서 두 별의 온도차가 많은 β Lyr형의 광도곡선을 보면 주성과 반성간의 상호작용이 특이한 현상이 있음을 볼 수 있다. 이것은 진화단계에서 질량의 이동이 일어나면서 시간의 경과에 따라서 이동 물질의 분포가 질량을 받는 별 주위에서 특이하게 변화함에 따라 각 필터로 관측한 광도곡선의 형태가 그림 1처럼 특정위상(phase)에서 서로 다르게 나타난다.

Struve(1946)는 분광관측의 흡수선 H와 K선의 강도가 특정 위상에서 강해지는 것은 별 주위에 주변물질(circumstellar matter)이 있거나 주성과 반성 사이에 물질의 흐름(gaseous stream)이 존재하기 때문이라고 하였는데, 이 쌍성계가 현재 질량 이동이 있다면 주기변화가 있을 것이다. 따라서 이를 검증하기 위하여 개선된 새로운 공전주기(11.721155일)를 구하였는데, 현재까지의 자료를 가지고는 공전주기의 변화 여부를 판단할 수가 없으며, 이를 확인하기 위해서는 지속적인 식심시각 관측이 필요하다.

이 연구에서 B 와 V 의 광도곡선을 동시에 사용하여 Wilson-Devinney 계산법으로 분석한 AQ Cas의 측광궤도요소들은 조기형 근접 쌍성의 상호작용과 진화에 대한 기본 자료들을 제공하게 될 것이다. 앞으로 분광학적인 시선속도의 분석이 수반될 때 AQ Cas의 절대크기인

LONG PERIOD INTERACTING CLOSE BINARY AQ CAS

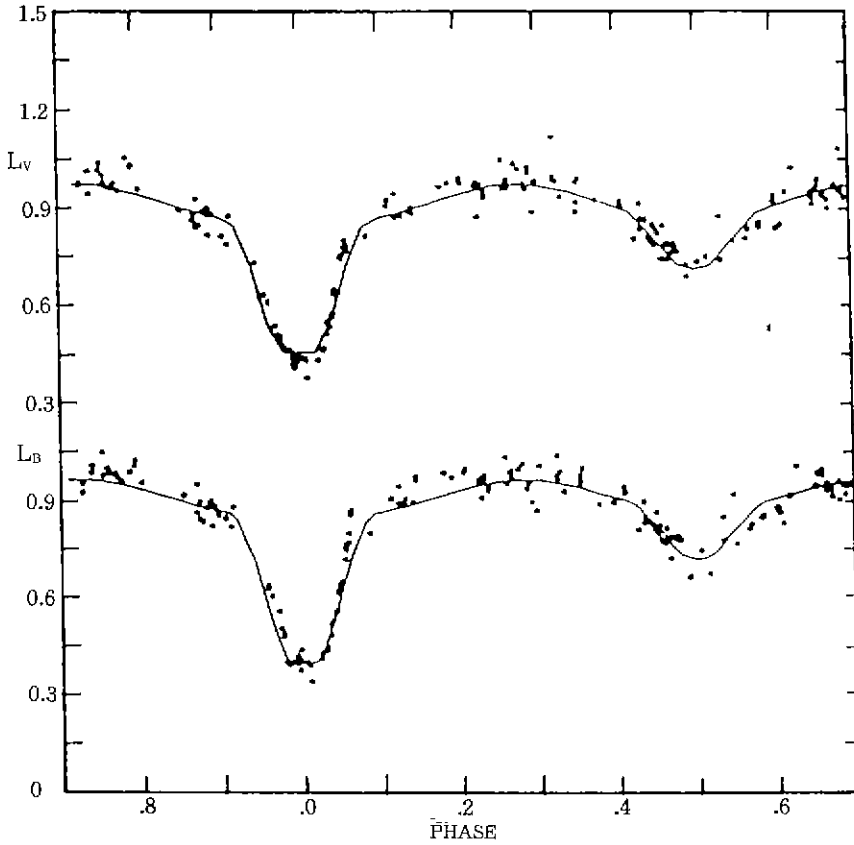


그림 3. AQ Cas의 관측점과 이론곡선. 각 점은 관측으로 얻은 것이고 실선은 표 3을 가지고 계산으로 얻은 이론적인 광도곡선이다.

정량적, 정성적인 해석은 더욱 분명히 할 수 있게 될 것이며 주성 주위로 유입되는 주변물질의 형태와 크기도 규명될 것이다.

감사의 말씀

연구를 진행하는 동안 조언과 협조를 해주신 연세대학교 나일성 교수님과 충북대학교 정장해 교수, 그리고 세종대학의 강영은 교수께 감사를 드립니다. 관측을 하는 동안 많은 도움을 주신 김호일 박사와 연세대학교 관측자 여러분께 감사드립니다. 그리고 이 연구를 위해 연구비를 지원한 학술진흥재단에 대하여 깊은 감사를 드립니다.

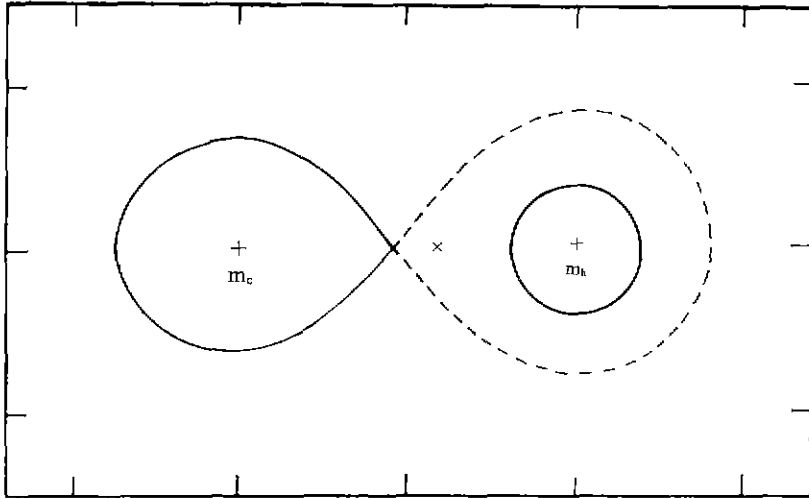


그림 4. 위상이 0.25일 때의 AQ Cas의 모습. 그림에서 보인 점선은 내부 임계 포텐셜면(Roche lobe)을 나타내고 있고, 실선은 별의 모습이다. 주성과 반성의 질량중심과 두 별간의 질량중심은 각각 + 와 x로 표시하였다.

참고문헌

- 김호일 1989, 연세대학교 박사학위 논문.
- Beyer, M. 1936, *Astron. Nachrichten*, **258**, 273.
- Blanco, V. M., Demers, S., Douglass, G. G., and Fitzgerald, M. P. 1968, *Photoelectric Catalogue*(U. S. Government Printing Office: Washington D. C.).
- Florja, N., and Zessewitch, W. 1931, *Astron. Nachrichten*, **241**, 198.
- Gaposchkin, S. 1953, *Annals of Harvard College Observatory*, **113**(2).
- Gaposchkin, S. 1958, *Handbuch der Physik*, **50**, ed. S. Flugge(Springer-Verag), p. 225.
- Haibedel, E. M. 1984, *Inf. Bull. Var. Stars*, 2549.
- Kim, H.-I., Chon, Y.-W., and Lee, Y.-S. 1988, *Vistas in Astron.*, **31**, 343.
- Kreiner, J. M., Mistecka, A., and Winiarski, M. 1980, *Astron. Nachrichten*, **301**, 327.
- Lee, Y.-S., Chun, Y.-W., Jeong, J.-H., and Nha, I.-S. 1990, *Proceeding of International Colloquium on New Frontiers in Binary Star Reserarch*, p. 64.
- Nha, I.-S., and Chun, Y.-W. 1988, in *Critical Observations vs. Physical Models*, ed. K. C. Leung (Gordon and Breach: New York), p.191.

LONG PERIOD INTERACTING CLOSE BINARY AQ CAS

Olson, E. C. 1985, *Publ. A. S. P.*, **97**, 183.

Olson, E. C. 1989, *Publ. A. S. P.*, **101**, 907.

Plavec, M. J. 1980, in *Close Binary Stars: Observations and Interpretation*, ed. M. J. Plavec, D. M. Popper and R. K. Ulrich (Reidel: Dordrecht), p. 231.

Splittgerber, E. H. 1972, *Mitteilungen uber Verandeliche Sterne, Sonneberg*, **6**, 53.

Struve, O. 1946, *Ap. J.*, **104**, 253.

Szafraniec, R. 1960, *Acta Astron.*, **10**, 69.

Wilson, R. E., and Devinney, E. J. 1971, *Ap. J.*, **166**, 604.

Wood, F. B., Oliver, J. P., Florkowski, D. R., and Koch, R. H. 1980, *A Finding List for Observations of Interacting Binary Stars* (Univ. of Penn. Press: Philadelphia).