

은하벌지에서 발견된 OGLE 변광성의 분류¹

강 영 운

세종대학교 지구과학과, 대양천문대

CLASSIFICATION OF OGLE VARIABLES IN GALACTIC BULGE

Young Woon Kang

Daeyang Observatory, Department of Earth Science, Sejong University

e-mail: kangyw@astro.sejong.ac.kr

(Received November 10, 1997; Accepted November 25, 1997)

요 약

우리은하 안에서 암흑물질을 찾는 OGLE 프로젝트가 바데의 창에서 발견한 변광성중에서 미분류로 분류한 기타변광성들의 특성을 규명하기 위하여 기타변광성의 진화상태, 광도곡선의 형태, 그리고 공전주기에 따른 광도변화의 폭 등을 조사하였다. 기타변광성에서 타원형 변광성을 제외한 것들은 대부분 주계열을 떠나 준거성 혹은 거성에 속하고, 광도변화의 폭은 주기가 30일 이하에서는 급격히 감소하고, 주기가 30일 이상에서는 완만하게 감소하는 것으로 나타났다. 광도곡선의 형태를 태양 근방의 RS CVn형 별들의 광도곡선과 비교한 결과 OGLE 기타변광성을 RS CVn형 별들로 분류하였다.

ABSTRACT

The miscellaneous variables observed by OGLE Project of searching for dark matter in our Galaxy have been analyzed to find their characteristics. We investigated evolutionary status, shape of light curve, relationship between orbital period and amplitude of light variation for the miscellaneous variables. The miscellaneous variables except ellipsoidal variables are subgiants or giants. The shapes of the light curves are similar to those of nearby RS CVn type stars. The amplitudes of the light variations decrease rapidly as increasing their orbital periods for the variables whose periods are shorter than 30 days, while the amplitudes decrease slowly for the variables whose periods are longer than 30 days. Thus the OGLE miscellaneous variables are classified as the RS CVn type stars.

1. 서 론

은하 중심부에 대한 가시광선 영역의 연구는 우리 은하의 다른 지역에 비하여 상대적으로 미약한 상태이다. 그 이유는 은하핵 주위에 불투명도가 높은 먼지 구름이 많이 존재하기 때문에 광학적으로

¹이 연구는 한국과학재단의 '97 국제공동연구비(과제번호: 975-0200-013-2)의 지원에 의한 것임

는 관측이 거의 불가능하기 때문이다. 그러나 Baade(1946, 1951)는 은하 별지 방향 중에서 상대적으로 흡수가 덜되는 지역을 발견하여 은하 별지를 집중적으로 사진 관측하였다. 이 지역을 소위 "바데의 창"이라고 하며, 광학적으로는 단지 이 지역을 통해서만 은하 별지에 대한 관측이 이루어지고 있다.

바데의 창은 은하중심 방향($l = 0.^{\circ}9$, $b = -3.^{\circ}9$, $\alpha = 18^{\text{h}}03^{\text{m}}24^{\text{s}}$, $\delta = -30^{\circ}02'00''$)에 위치한 직경이 약 30'되는 지역으로 중심에는 구상성단 NGC 6522가 위치하고 있다. 이 영역에서는 주로 사진관측으로 분광형이 K형과 M형인 거성들이 관측되었다. 최근에는 Rich(1988, 1992), Terndrup *et al.* (1991) 등이 바데의 창에서 매우 밝고, 분광형이 만기형인 M형과 K형의 거성에 대해서 분광 관측을 시도하였다. 이들은 별지에 있는 거성들의 일부분은 금속 성분이 태양의 10배가 되는가하면 적은 것들은 1/10 정도 되는 것도 있어서 매우 다양한 금속 성분의 비율을 나타낸다고 하였다. 그러나 평균 금속 함유량은 태양의 2배정도가 된다. 이 결과는 별지에 있는 대부분의 별이 태양보다 나이가 많은 것을 고려한다면 이해하기 힘든 결과이다.

Holtzman *et al.* (1993)은 허블 우주 망원경에 장치된 wide field camera를 이용하여 바데의 창 영역을 V와 I 필터를 사용하여 측광 관측하였다. 측광된 별의 밝기는 $V = +22.5$ 등급까지이며 지상 관측보다 3-4 등급 더 어두운 별들을 관측하였다. 별지까지의 거리를 8 kpc로 가정하고, 관측 결과를 이용하여 별지에 있는 별들의 나이를 많게는 100억년까지 추정하였다.

1990년대부터 CCD의 성능이 도약적으로 개선됨으로 우리은하안에서 dark matter를 찾기 위한 목적으로 중력렌즈에 대한 실험이 MACHO, EROS, OGLE(Optical Gravitational Lensing Experiment, Udalski *et al.* 1994) 등의 프로젝트에 의해서 수행되었다. 그 중 OGLE 프로젝트는 바데의 창 영역을 V와 I 필터를 사용하여 CCD 측광관측을 집중적으로 수행하였다. 다년간 같은 지역을 지속적으로 측광관측을 한 결과 주기성이 확인된 많은 수의 변광성에 대하여 광도곡선을 완성하였다. 주기성이 확인된 변광성들은 다시 맥동변광성, 식변광성, 그리고 미분류(기타) 변광성으로 구분하여 광도곡선을 발표하였다. 이 논문에서는 OGLE 프로젝트에 의해서 미분류로 분류된 기타변광성들을 분류하기 위하여 광도곡선의 형태, 색-등급도, 그리고 공전주기에 따른 광도변화의 폭 등을 분석하려한다.

2. OGLE 관측자료

OGLE 계획은 폴란드의 바르샤바대학 천문대, 미국의 프린스턴대학 천문대, 그리고 카네기 연구소가 공동으로 우리은하안에 존재할 것으로 예상되는 암흑물질을 찾는 것을 목적으로 하는 장기 관측 계획이다. 이 계획은 암흑 물질을 찾기 위하여 별이 밀집되어 있는 지역을 집중적으로 CCD 측광 관측하여 중력렌즈 현상을 찾아내는 방법을 사용하고 있다. 그러므로 별이 밀집되어 있는 지역으로 은하별지를 선정하였다. 그러나 은하별지 지역은 가시광선 영역에서는 단지 바데의 창에서만 관측이 가능하므로 OGLE 팀은 바데의 창을 12개 지역으로 나누어 V와 I 필터를 사용하여 CCD 측광관측을 하였다. 각 지역의 크기는 $15' \times 15'$ 이며 12개의 지역에서 수 백만개의 별에 대한 V와 I 등급을 결정하였다.

OGLE팀은 모든 관측을 칠레에 있는 Las Campanas 천문대의 1m 망원경을 사용하였다. 4 계절동안 수 백만개의 별을 관측하여 19개의 중역렌즈 현상을 발견하였고, 광도 변화가 $0.^m1$ 이상이면서 주기성을 가진 약 2,000개의 변광성을 발견하였고 광도곡선과 주기를 구하였다. 이들 변광성에는 맥동 변광성이 약 300여개, 식쌍성이 약 900여개 그리고 기타 변광성(miscellaneous variables)이 약 800여개로 분류되었다. Udalski *et al.* (1994)은 이들 변광성의 일부에 대하여 광도곡선과 공전주기를 발표하고 모든 자료는 여러 사람들이 이용할 수 있도록 잘 정리하여 컴퓨터에 보관하고 인터넷에 공개하고 있다.

3. OGLE 기타변광성

OGLE project에서 기타변광성으로 분류된 변광성들은 광도곡선상에서 광도의 변화가 $0.^m1$ 이상이면서 식쌍성과 맥동변광성이 아닌 모든 변광성이다. 이들의 광도곡선은 대부분 sine곡선의 형태로 나타난다. 기타변광성을 광도곡선의 형태를 기초로 분류하면 타원형 변광성과 채층활동이 강한 변광성으로 구분할 수 있다. 타원형 변광성은 별의 형태가 이심율이 큰 타원형으로 생겼으므로 시선방향으로 향하는 별의 면적의 크기에 따라서 밝기가 변하므로 매우 규칙적이고 scatter가 비교적 작은 깨끗한 광도곡선으로 나타난다.

채층활동이 강한 별들은 표면에 강한 자기장이 불규칙하게 분포하여 격렬한 채층활동과 흑점현상이 나타나므로 가시광선 영역에서는 불규칙한 광도변화로 광도곡선은 scatter가 큰 것이 특징이다 (Kang & Wilson 1989, Kang 1993, Jeong *et al.* 1994). 그 중에서는 RS CVn형은 쌍성의 두 별 모두 혹은 한별이 채층활동이 심하고, 이미 주계열을 떠난 준거성이며, BY Dra형 별은 두 별 모두 아직 주계열에 머물러 있는 별들이다.

OGLE 기타 변광성들의 진화 상태를 확인하기 위하여 색등급도($V - I$ vs I)를 그림 1에 완성하였다. 기타변광성의 색지수는 OGLE 팀이 발표한 광도곡선에서 광도가 가장 밝은 위상에서 산출하여 표 1에 수록하였다. 그림 1에서 대부분의 기타변광성들이 이미 주계열을 떠나 준거성으로 진화하고 있는 것을 볼 수 있다. 한편 그림 2에는 식변광성에 대하여 그림 1과 같이 색등급도를 완성하였다. 식변광성들의 대부분은 W UMa형과 알골형으로 주계열상에 위치하고 일부가 주계열을 떠나 준거성으로 진화한 곳에 위치하고 있다. 그러나 기타변광성의 대부분은 이미 주계열을 떠난 것이 확실히 나타나며 준거성 혹은 거성의 위치에 나타나고 있다. OGLE 관측의 한계등급을 $18.^m0$ 으로 할 때 OGLE 관측에서 관측된 모든 별중(변광성과 일반별 모두 포함)에서 약 40%가 주계열에 위치하고, 나머지 60 퍼센트가 주계열을 떠난 것으로 나타나고 있다. 그러나 $18.^m0$ 보다 어두운 별들은 모두 주계열에 속한 것으로 나타나나 관측오차가 큰 것으로 판명되어 분석에서 제외하였다.

변광성으로 판명된 것은 모두 $18.^m0$ 보다 밝은 것이므로 $18.^m0$ 보다 어두운 변광성은 확인되지 않은 상태이다. 그러므로 두 별 모두 주계열에 머무르고 크기가 작은 BY Dra형 별들은 그림 1과 2에 나

표 1. 기타변광성(BCV)의 주기, 변광폭 및 색지수.

Baade 별 번호	공전주기	ΔI	$V - I$	Baade 별 번호	공전주기	ΔI	$V - I$
BWCV 2	32.97609	0.105	1.80	BWCV 77	40.48583	0.168	-
BWCV 3	16.71542	0.105	2.02	BWCV 78	3.79291	0.113	1.86
BWCV 5	55.86592	0.161	2.01	BWCV 83	55.63283	0.121	1.68
BWCV 7	49.44376	0.168	1.92	BWCV 84	61.53846	0.096	1.84
BWCV 8	45.45455	0.088	1.79	BWCV 87	14.55075	0.183	1.89
BWCV 9	16.24036	0.071	2.02	BWCV 94	3.81643	0.105	1.88
BWCV 10	37.73585	0.168	1.95	BWCV 99	54.92400	0.22	1.92
BWCV 11	48.48485	0.121	1.78	BWCV105	2.31415	0.183	1.60
BWCV 12	23.86635	0.079	1.86	BWCV108	5.54835	0.145	-
BWCV 13	50.82592	0.088	1.74	BWCV113	19.75309	0.227	1.83
BWCV 16	26.42008	0.129	1.89	BWCV114	15.37870	0.22	2.16
BWCV 21	17.05030	0.161	2.06	BWCV119	4.09207	0.168	1.51
BWCV 27	33.11258	0.113	1.92	BWCV122	5.52792	0.168	1.87
BWCV 29	5.26870	0.176	1.64	BWCV130	5.79123	0.168	1.89
BWCV 31	22.33389	0.096	1.77	BWCV132	2.11372	0.183	2.39
BWCV 32	20.55498	0.198	1.84	BWCV133	15.67085	0.105	1.86
BWCV 34	40.48583	0.363	2.05	BWCV134	11.31862	0.153	2.28
BWCV 38	39.40887	0.213	2.00	BWCV135	17.05030	0.153	2.27
BWCV 39	5.82920	0.088	1.15	BWCV140	67.22689	0.153	1.92
BWCV 40	8.29876	0.145	1.99	BWCV144	4.49792	0.168	1.89
BWCV 42	40.00000	0.183	1.86	BWCV152	22.94894	0.145	1.73
BWCV 44	62.89309	0.262	2.22	BWCV162	57.80347	0.206	1.82
BWCV 45	6.67334	0.088	1.20	BWCV164	7.62922	0.308	2.41
BWCV 46	24.18380	0.137	1.93	BWCV167	23.46041	0.183	1.93
BWCV 49	21.32196	0.153	1.88	BWCV173	12.80410	0.206	2.14
BWCV 52	20.69322	0.088	1.92	BWCV180	20.44990	0.248	1.89
BWCV 55	3.41472	0.096	1.86	BWCV184	6.31014	0.22	1.89
BWCV 63	28.77393	0.105	1.79	BWCV185	25.99090	0.213	1.93
BWCV 67	39.52569	0.113	1.74	BWCV193	13.35113	0.276	1.84
BWCV 69	3.48129	0.105	1.14	BWCV196	8.24402	0.22	2.23
BWCV 71	5.23766	0.079	1.92	BWCV200	11.36364	0.183	2.13
BWCV 72	5.31773	0.088	1.39	BWCV209	6.57030	0.282	1.95
BWCV 74	45.81902	0.129	1.49	BWCV212	6.59848	0.262	2.19

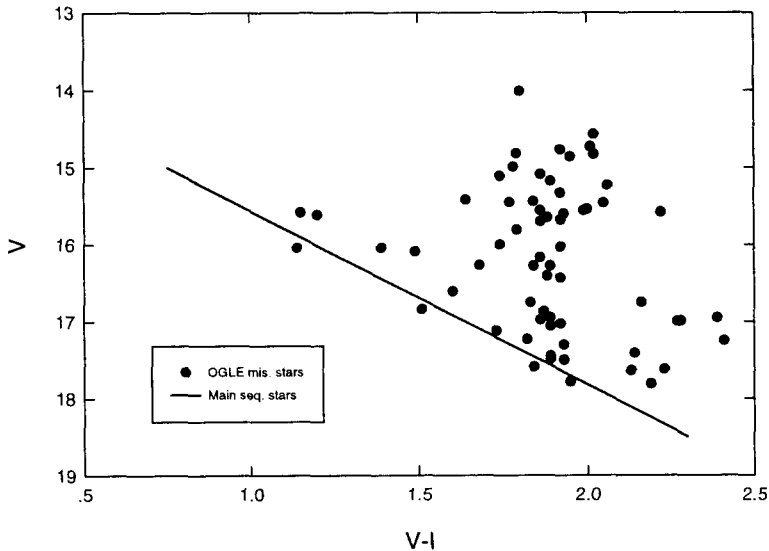


그림 1. 바데의 창에서 관측된 기타 변광성의 색-등급도. 검은 점은 기타변광성이고 직선은 주계열을 뜻한다. 기타변광성의 대부분이 주계열을 떠나 준거성으로 진화하였다.

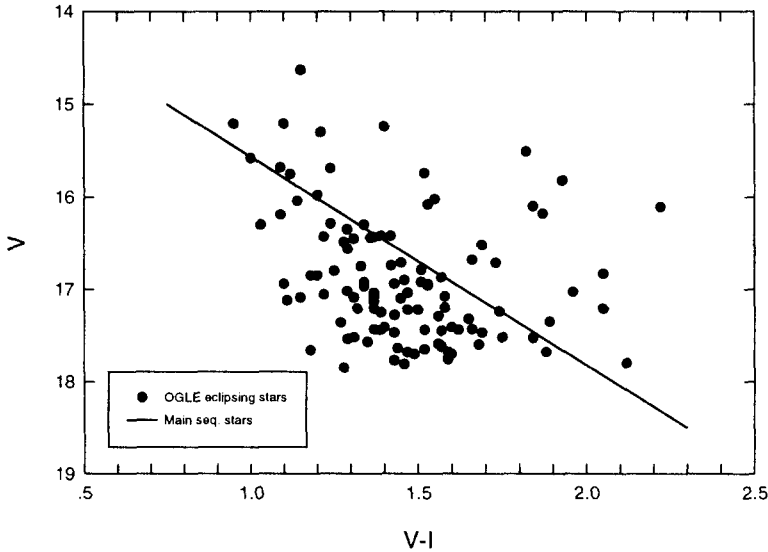


그림 2. 바테의 창에서 관측된 식쌍성의 색-등급도. 검은 점은 식쌍성이고 직선은 주계열을 뜻한다. 식쌍성의 대부분이 아직 주계열상에 있다.

타나지 않았고 이 논문에서는 연구대상이 되지 못하였다.

OGLE 기타변광성의 광도곡선은 3 종류로 구분할 수 있다. 첫째 광도곡선에 scatter가 거의 없이 매우 깨끗하게 나타나는 것들, 둘째 광도곡선이 sine 곡선 형태이지만 scatter가 매우 큰 것들, 셋째 곡선의 형태가 계절에 따라서 변화하여 반복적으로 나타나는 것들이 있다. 여기서 scatter가 거의 없이 sine곡선 형태를 보이는 것은 타원형 변광성으로 간주하고 이 논문에서는 연구의 대상에서 제외하였다.

광도곡선이 sine 곡선 형태로 나타나는 것은 태양 근방에서도 RS CVn형과 BY Dra형들에서 나타나는 것이므로, 태양 근방에서 관측된 RS CVn형 쌍성의 광도곡선과 OGLE 기타변광성의 광도곡선을 그림 3에 비교하였다. 그림 3에서 왼쪽 3개 광도곡선은 OGLE 기타변광성의 광도곡선이고, 오른쪽 3개 광도곡선은 태양근방의 RS CVn형 쌍성의 광도곡선이다. 쉽게 비교하기 위하여 주기가 비슷한 것끼리 비교하여 상단에는 주기가 각각 약 9일과 6.4일, 중간에는 약 24.3일과 24.2일, 하단에는 약 50일전후의 광도곡선을 비교하였다. OGLE 기타변광성의 광도곡선들은 태양근방의 RS CVn형 쌍성의 광도곡선과 매우 유사하게 나타났다. 상단의 광도곡선은 scatter가 있는 sine 곡선으로 가장 일반적인 RS CVn형 광도곡선이다. 중간에 있는 광도곡선은 scatter가 매우 심하여 마치 2개의 광도곡선이 있는 것 같다. 이는 계절마다 광도곡선의 형태가 바뀌는 RS CVn형 광도곡선이다. 하단의 광도곡선은 장주기 광도곡선으로 위의 두 종류의 광도곡선의 특징을 모두 포함하는 광도곡선이다.

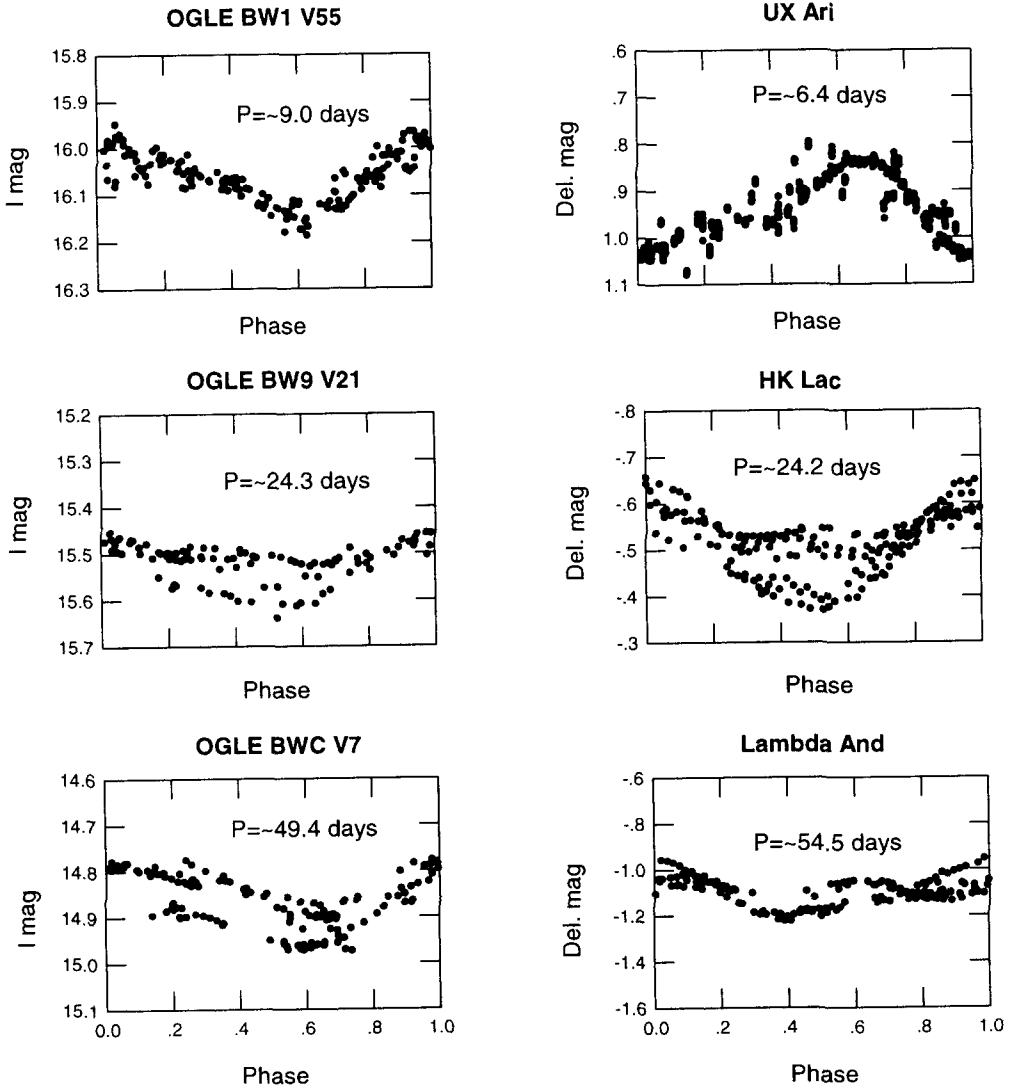


그림 3. RS CVn형 변광성의 광도 곡선. OGLE 관측에서 기타변광성으로 구분된 광도 곡선(왼쪽), 태양 근방의 RS CVn형의 광도 곡선(오른쪽). 두 그룹의 광도 곡선을 비슷한 공전 주기끼리 비교한 결과 매우 비슷한 모양을 보이고 있다. 광도 곡선으로 미루어 볼 때 OGLE의 기타변광성은 대부분 RS CVn형으로 추정된다.

4. 검토와 토의

기타변광성의 진화상태를 색-등급도에서 조사한 결과 대부분의 기타변광성은 주계열을 떠난 상태로 준거성 혹은 거성에 속하고 있는 것으로 판명되었다. 이는 채층활동이 활발한 RS CVn형 별의 특성과 잘 일치하는 것이다. 대부분의 RS CVn형 별들은 준거성으로 진화하였음에도 불구하고 활발한 채층활동이 지속되고 있는 것이 특징이다.

OGLE 팀이 미분류로 발표한 기타변광성의 광도곡선은 특별한 의미가 있는 것이 아니라 식쌍성과 맥동변광성의 형태가 아니면서 광도곡선의 변화가 주기적인 것을 모은 것이다. 그러므로 이들의 광도곡선의 변화는 매우 다양한 형태를 보이고 있다. 그들중의 주류는 sine 곡선 형태의 주기성을 보이는 광도곡선이고, 일부는 주기성은 보이지만 계절에 따라 곡선의 형태가 매우 심하게 변하는 것이 있다. 이들 중에서 타원형 변광성을 제외하면 광도곡선에 나타난 변광은 자체 변광이 틀림없는 것으로 추정된다. 앞장에서 전형적인 RS CVn형 별들의 광도곡선과 비교한 결과 광도곡선의 형태는 태양 근방의 RS CVn형 별들과 매우 흡사하다. 그러므로 기타변광성중에서 타원형 변광성을 제외한 것들은 채층활동이 활발한 RS CVn형 별들이라고 분류할 수 있다.

기타변광성의 대부분이 RS CVn형 별들이라는 것을 규명하기 위하여 위에서 언급한 별의 진화상태와 광도곡선의 형태외에 광도변화의 폭과 공전주기와의 상관관계를 조사하였다. 이 상관관계는 RS CVn형 별들의 특성을 나타내는 중요한 특징중의 하나이다. 광도변화의 폭을 구하기 위하여 OGLE 팀이 관측하여 발표한 측광자료를 수집하여 바데의 창 중심영역(BWC)에 있는 기타변광성에 대하여 광도곡선을 완성하였다. 각 광도곡선상에서 광도가 최대와 최소로 나타나는 위상의 평균 밝기와 광도가 최소가 되는 위상의 평균 밝기를 각각 구하여 광도변화의 폭(ΔI)을 산출하여 표 1에 수록하였다. 공동전주기와 자전주기가 거의 일치한다는 가정아래 자전주기가 증가함에 따라 광도변화 폭이 어떻게 변화하는가를 판정하기 위하여 기타변광성의 공전주기 대 광도변화의 폭을 그림 4에 그렸다. 그림 4에서 공전주기가 약 30일 이하에서는 주기가 증가함에 따라서 광도변화의 폭은 급속히 감소하는 추세이고 30일 이상에서는 광도변화의 폭이 매우 완만하게 감소하고 있다. Guinan & Gimenez(1993), Strassmeier *et al.* (1993), Guinan *et al.* (1996) 등은 이러한 상관관계를 태양 근방의 RS CVn형 별들에서 확인하였고, 더욱이 분광형이 동일한 별에 대하여는 자기장의 활동의 결과로 나타나는 coronal X-선 방출량이 자전주기가 증가함에 따라 감소한다는 결론을 얻었다.

에너지의 전달이 별의 외부층에서 대류로 이루어지고, 별의 자전이 빠르면 별 표면에는 채층 활동이 활발해진다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여서는 single star인 경우 분광형이 G-M형으로 만기형에 해당해야 외부에 대류층을 형성하고 있고, 또한 빠른 회전을 위해서는 나이가 어려야된다. 그러므로 T Tauri형 별과 같이 별로 탄생한지 얼마 되지 않는 어린별들은 분광형이 만기형이며 빠른 자전을 하기 때문에 채층활동이 활발한 것으로 알려졌다. Guinan & Gimenez(1993)는 자외선 영역의 Mg II 방출선의 세기를 이용하여, 만기형 별의 채층활동이 별의 자전속도가 느려짐에 따라 약해지는 것을 확인하였다. 그러나 근접 쌍성의 구성원들은 서로가 조석력으로 강하게 묶여 있으며 공전주기

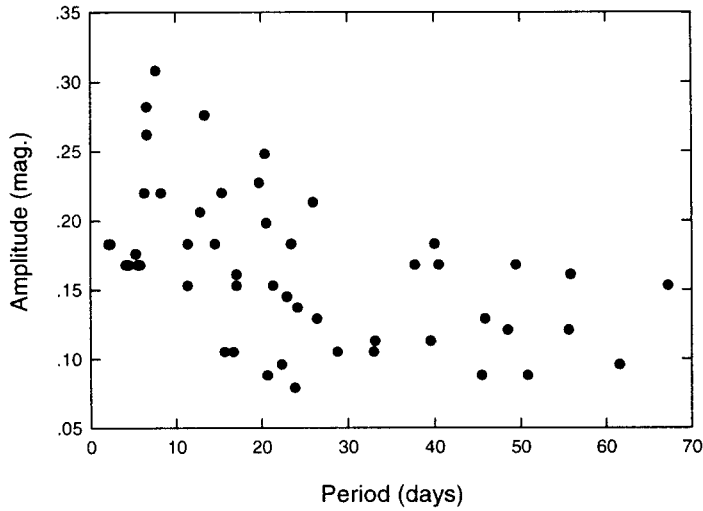


그림 4. 기타변광성에 대한 공전주기에 따른 광도변화의 진폭. 공전주기가 약 30일 이하에서는 광도변화의 폭이 급격히 감소하고, 공전주기가 30일 이상에서는 광도변화의 폭이 완만히 감소한다.

가 수 시간에서 수일 혹은 수십일이 되므로 별의 나이가 많아도 자연히 빠른 자전을 하게 된다. RS CVn형 근접 쌍성들은 분광형이 만기형이며, 자전 속도가 태양이나 평범한 single star보다 빠르므로 강한 자기장 활동이 유발되고, 채층 활동이 활발해지고, 별 표면에는 흑점이 형성되며, 결과적으로 가시광선 영역의 광도 곡선은 비대칭을 이루거나 식바깥 부근에서 물결 모양의 광도 곡선을 형성하는 등의 광도변화가 나타난다. 그림 4에 나타난 기타변광성의 특성은 공전주기가 증가함에 따라 광도변화의 폭이 감소하는 것으로 태양 근방의 RS CVn형에서 나타나는 채층활동이 자전속도가 느려짐에 따라 약해지는 것과 잘 일치하는 결과이다.

OGLE 기타변광성의 특성을 규명하기 위하여 진화상태, 광도곡선의 형태, 그리고 광도변화의 폭과 공전주기의 상관관계를 조사하였다. 그 결과 모든 특성들이 태양 근방의 RS CVn형 별들의 특성과 잘 일치하므로 OGLE 기타변광성을 RS CVn형 별로 구분하는데 무리가 없는 것으로 판명되었다.

참 고 문 헌

- Baade, W. A. 1946, PASP, 58, 249
 Baade, W. A. 1951, Publ. Univ. Mich. Obs., 10, 7
 Guinan, E. F. & Gimenez, A. 1993, The Realm of Interacting Binary Stars, ed. J. Sahade (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht), p.51
 Guinan, E. F., Kang, Y. W. & Gudel M. 1996, proceedings of the IAP meeting
 Holtzman, J. A., Light, R. M., Baum, W. A., Worthey, G., Faber, S. M., Hunter, D. A., O'Neil, E. J., Kreidl, T. J., Groth, E. J. & Westphal, J. A. 1993, AJ, 106, 1826
 Jeong J. H., Kang, Y. W., Lee, W. B. & Seong, U. C. 1994, ApJ, 421, 779

- Kang, Y. W. 1993, *Ap&SS*, 201, 35
Kang, Y. W. & Wilson, R. E. 1989, *AJ*, 838
Rich, R. M. 1988, *AJ*, 95, 828
Rich, R. M. 1992, in *Variable Stars and Galaxies*, ed. B. Warner (Astronomical Society of the Pacific: San Francisco), p.47
Strassmeier, K. G., Hall, D. S., Fekel, F. C. & Scheck, M. 1993, *ApJS*, 100, 173
Terndrup, D. M., Frogel, J. A. & Whitford, A. E. 1991, *ApJ*, 378, 742
Udalski, A., Kubiak, M., Szymanski, M., Kaluzny, J., Mateo, M. & Krzeminski, W. 1994, *AcA*, 44, 317