

## W UMa형 식쌍성 GSC2576-0319와 GSC2584-1731의 측광해

이충욱<sup>1,2†</sup>, 이재우<sup>1</sup>, 진 호<sup>1</sup>, 김천휘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

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

### PHOTOMETRIC SOLUTIONS OF W UMA TYPE STARS: GSC2576-0319 AND GSC2584-1731

Chung-Uk Lee<sup>1,2†</sup>, Jae Woo Lee<sup>1</sup>, Ho Jin<sup>1</sup>, and Chun-Hwey Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, 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: leecu@kasi.re.kr

(Received October 15, 2006; Accepted November 8, 2006)

#### 요 약

ROTSE(Robotic Optical Transient Search Experiment) 후속관측을 통하여 W UMa형 식쌍성으로 재분류했던 변광성 중 광도곡선의 형태가 특이한 2개의 변광성에 대하여 2004년 5월 1일부터 5일간에 걸쳐 레몬산천문대 1m 망원경을 이용하여 고정밀 측광관측을 BVI 영역에서 수행하였다. W UMa형 식쌍성의 체계적인 분석을 위하여 2005년 개정된 Wilson-Devinney 쌍성 코드를 사용하는 광도곡선분석 스크립트를 작성하였다. GSC2576-0319와 GSC2584-1731의 광도곡선을 분석하여 얻은 궤도경사각 ( $i$ )은  $43.^\circ 5$ 와  $57.^\circ 6$ 로써 비교적 낮은 값을 가지고 있으며, GSC2584-1731의 광도곡선상 비대칭 효과를 설명하기 위하여 흑점모형을 적용하고, 이때의 흑점인자를 결정하였다.

#### ABSTRACT

High-precision photometric observations were performed in BVI bandpasses using 1m robotic telescope at Mt. Lemmon Observatory for two binary stars, which are reclassified as W UMa-type systems from ROTSE(Robotic Optical Transient Search Experiment) follow-up observations and show peculiar light variations. In order to analyze W UMa-type eclipsing binaries systematically, the light curve analysis script using 2005 version of Wilson-Devinney binary code is constructed. The orbital inclinations of GSC2584-1731 and GSC2576-0319 are  $43.^\circ 5$  and  $57.^\circ 6$  from light-curve analysis, respectively. Spot model is applied to explain the asymmetric light curve for GSC2584-1731 and the spot parameters are derived.

**Keywords:** contact binary, GSC2576-0319, GSC2584-1731, photometry, spots

#### 1. 서 론

1990년대 초반부터 본격적으로 시작된 다양한 규모의 탐사관측연구는 광시야 광학계와 CCD 카메라의 대형화 등 관측장비의 급속한 발달에 힘입어 더욱 넓은 영역에서 좀 더 어두운 천체들에 대한 탐사관측이 가능하도록 발전되어 왔으며, 현재에도 대규모 탐사관측연구가 세계 각국에서 진행되고

<sup>†</sup>corresponding author

있다([http://www.vilspa.esa.es/astroweb/yp\\_survey.html](http://www.vilspa.esa.es/astroweb/yp_survey.html)). 장기간에 걸쳐 체계적으로 진행되는 여러 탐사관측연구는 본연의 연구 결과 이외에도, 수 많은 변광 천체를 새롭게 발견하였으며, 이들에 대한 방대한 양의 관측 자료를 부산물로 제공해 주었다. 이와 더불어 대용량 관측자료에 대한 체계적이며 일괄적인 자료분석 기법과 발견된 변광성의 체계적인 분류법들이 개발되어 사용되고 있다. 그 예로서 EROS, MACHO, OGLE, MOA 등과 같이 중력렌즈사건 탐사관측의 목적으로 수행된 장기 탐사 관측의 부산물로 무려 200,000만개 이상의 변광성이 새로 발견 되었고(Devor 2005), 그 변광성들에 대한 체계적이며 일괄적인 분석을 통하여 변광성 분류를 시도한 것은 좋은 예라고 볼 수 있다.

대용량 자료의 일괄 처리와 관련된 연구는 크게 3가지로 구분 할 수 있다. 첫째, Grison et al.(1995)이나 Alcock et al.(1997) 등의 연구에서 수행된 것과 같이, 대용량 자료의 일괄 분석을 통하여 변광 천체에 대한 변광 주기를 찾아내고, 광도곡선의 형태에 기초하여 변광성을 분류하고 목록화한 연구이다. 그러나, 고정밀 후속관측을 통하여 광도곡선의 정확성이 향상됨으로써, 탐사관측 당시 낮은 측광정밀도로 인한 분류 오류가 종종 보고되고 있다(Jin et al. 2003, 2004). 둘째, Devor(2005)와 Tamuz et al.(2006) 등의 연구에서 보는 바와 같이, 다량의 새로운 변광성들에 대해 기본물리량을 얻고 변광기작에 대한 기본자료를 제공하는 연구로서, Tamuz et al.(2005)의 연구에 의하면 대용량의 자료처리시에 광도곡선에 포함될 수 있는 대기소광, 검출기효율, PSF 변화 등의 계통오차의 제거를 위한 세심한 주의가 요구된다. 세제, 고정밀 측광 및 분광관측자료의 분석을 통하여 절대 물리량을 얻고 이를 통하여 거리지표 등과 같은 다른 물리량을 얻는 연구(Oblak et al. 1998, Wytthe & Wilson 2001, Graczyk 2003, Wyrzykowski et al. 2003, Michalska & Pigulski 2005)이다.

Akerlof et al.(2000)은 ROTSE(Robotic Optical Transient Search Experiment) 탐사관측을 통하여 주기성을 가진 1781개의 변광성들을 발견하고, 광도곡선의 형태에 근거하여 그 중 91개를  $\delta$ -Scuti형 변광성으로 분류하였다. 그러나, Jin et al.(2003, 2004)는  $\delta$ -Scuti형으로 분류된 91개 중에서 총 49개의 변광성들에 대한  $V, I$  영역의 고정밀 후속 관측으로부터 이 중 6개 만을 High Amplitude  $\delta$ -Scuti(HADS)로 분류하고, 나머지 43개의 변광성은 W UMa형 식쌍성으로 재분류 하였다. 이는 곧 탐사관측의 부산물로 얻는 대용량의 관측자료에서 이들의 변광 형태를 결정하는데 있어 측광정밀도가 매우 중요함을 시사하는 것이다. 이 연구에서는 Jin et al.(2003, 2004)에 의하여 W UMa형 식쌍성으로 재분류된 2개의 변광성 GSC 2584-1731와 GSC 2576-0319에 대해 BVI 영역에서 고정밀 측광관측을 수행하여 광도곡선을 획득하고, 광도곡선의 체계적인 분석을 위하여 구축한 광도곡선분석 스크립트를 사용하여 구한 물리인자를 제시하고자 한다.

## 2. 관측 및 자료처리

2004년 5월 1일부터 5일까지 총 5일밤 동안 레몬산천문대에서 GSC2584-1731와 GSC2576-0319를 측광관측 하였다. 레몬산천문대 1m 자동망원경은 미국 아리조나주에 위치한 망원경으로 약  $22.2' \times 22.2'$ 의 관측시야를 가지며 열전냉각방식의 CCD 카메라를 사용하고 있으며, 관측자가 한국에서 낮 시간 동안 원격으로 현지 제어컴퓨터에 접속하여 관측을 수행한다. 다색측광 관측을 위하여 BVI 필터를 사용하였고, 관측영상의 전처리를 위하여 초저녁과 새벽녘에 각각 플랫폼영상과 바이어스영상 및 암흑영상을 얻었다. 각 필터별 적정 노출시간을 얻기 위하여 한 픽셀의 값이 최대 40000adu를 넘지 않도록 BVI 필터별로 GSC2576-0319의 경우에는 60, 30, 15초로 GSC2584-1731의 경우에는 120, 60, 30초로 노출시간을 각각 설정하였다. 관측이 이루어지는 동안 성상의 FWHM 값은 약 3픽셀에 이르도록 초점을 계속 조정하며 관측을 수행하였으며, 자동 추적장치를 실행시켜 같은 위치에 별이 위치하도록 하여 관측오차를 최소화 하였다.

표 1. GSC2576-0319와 GSC2584-1731의 비교성과 검토성.

object	RA	DEC	$m_B^a$	$m_V^a$	$B - V^a$	type
GSC2576-0319	16 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 43. <sup>s</sup> 3	+34° 37' 14''	11.973	11.526	0.447	program
GSC2576-1168	16 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 58. <sup>s</sup> 7	+34° 31' 19''	13.638	12.211	1.427	comparison
GSC2576-1003	16 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 08. <sup>s</sup> 2	+34° 25' 04''	14.160	13.490	0.670	check
GSC2584-1731	16 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 06. <sup>s</sup> 5	+34° 42' 42''	13.500	12.690	0.810	program
GSC2583-1205	16 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 11. <sup>s</sup> 4	+34° 31' 48''	13.440	12.690	0.750	comparison
GSC2583-1337	16 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 58. <sup>s</sup> 7	+34° 44' 12''	13.990	13.240	0.750	check

<sup>a</sup>Adapted from the Naval Observatory Merged Astrometric Dataset(Zacharias et al. 2004)

관측자료의 처리는 이충욱 외(2003)가 작성한 스크립트를 이용하여 전처리한 후 기계등급을 구하였다. 전처리 과정에서 필요한 바이어스영상, 암흑영상 및 플래트영상은 그날 관측한 영상들을 합성하여 사용하였다. 레몬산천문대 1m 망원경은 열전냉각방식을 사용하는 CCD 카메라를 장착하고 있기 때문에 액체질소냉각방식의 카메라와는 달리 암흑영상보정이 매우 중요하다. 암흑영상보정을 위하여 120초 동안 노출하여 관측 전과 후에 각각 10장씩의 암흑화면을 얻고, 각 노출시간에 따라 스케일하여 전처리 보정하였다. 전처리 과정을 마친 관측영상들은 IRAF apphot 구동 스크립트로 구경측광하여 기계등급을 구하였다. 이때, 구경의 크기는 각각의 영상에서 포화되지 않고 노출이 잘된 10개의 별에서 시상을 계산한 후 평균한 값에 4를 곱하여 구경 측광시 대기변화에 따른 시상을 보정하고, 충분한 광량이 포함되도록 하였다.

GSC2576-0319와 GSC2584-1731 각각의 비교성과 검토성은 관측성과 비슷한 색과 등급을 갖고 관측성에 가까이 있는 천체로 선정하여, 대기투과량의 변화에 따른 영향을 최소화하도록 노력하였으나, GSC2576-0319의 경우에는 주변별들이 너무 어두웠기 때문에 적당한 천체를 찾기가 어려워 등급이 비슷한 GSC2576-1168을 비교성으로 선택하였다. 비교성의 변광여부를 확인하기 위하여 검토성과 차등한 결과 관측동안 비교성의 밝기가 일정함을 확인하였다. 검토성과 비교성의 등급차( $\Delta m$ )로 구한 관측의 표준편차는 BVI 영역에서 모두 약  $\pm 0.01$  이내에 이른다. 표 1에 관측성과 비교성 및 검토성의 기본 정보를 나타내었다.

### 3. 광도곡선분석 스크립트

광도곡선의 분석을 위하여 그림 1과 같이 광도곡선분석 스크립트를 작성하였다. 광도곡선분석 스크립트는 Wilson-Devinney 쌍성코드 2005년도 개정판(Wilson & Devinney 1971, 이하 WD 코드)에서 복잡한 구조로 나열되어 있는 입력파일(lcin.active, dcin.active)이 물리인자이름과 값으로 구분된 통합입력파일(test.tmp)로 계산될 수 있도록 한다. 또한, 정해진 횟수동안 조정인자의 설정에 따라 물리인자의 값을 바꾸어 가며 정해진 범위내에서 최적의 값을 찾아내도록( $\chi^2$ 이 최소가 될 때까지) 반복계산을 수행하고 그 때의 결과를 그림과 파일로 기록한다. 분광관측을 통하여 질량비( $q$ )가 이미 알려진 경우에는 질량비를 고정하고 나머지 물리인자를 결정하도록 설정하여 구동시간을 크게 단축시킬 수 있으나, 측광관측만 이루어져 시스템의 질량비를 구해야 할 경우에는 질량비를 일정한 값으로 증가시켜 가며 그 때마다 물리인자를 결정해야 하기 때문에 많은 시간이 소요된다. Pentium 4급 Linux 기반의 컴퓨터로 시험해 본 결과 한 시스템의 해를 찾는 데 약 10시간 정도의 시간이 소요되었다.

WD 코드는 크게 LC와 DC로 이루어져 있으며, LC는 입력된 각각의 물리인자를 이용하여 이론적인 광도곡선을 만드는 코드이고, DC는 미분보정을 통하여 관측자료를 잘 대표하는 각각의 물리인자를 결정하는 코드이다(Wilson & Devinney 1971). 두 코드에서 사용하는 인자들은 공통적으로

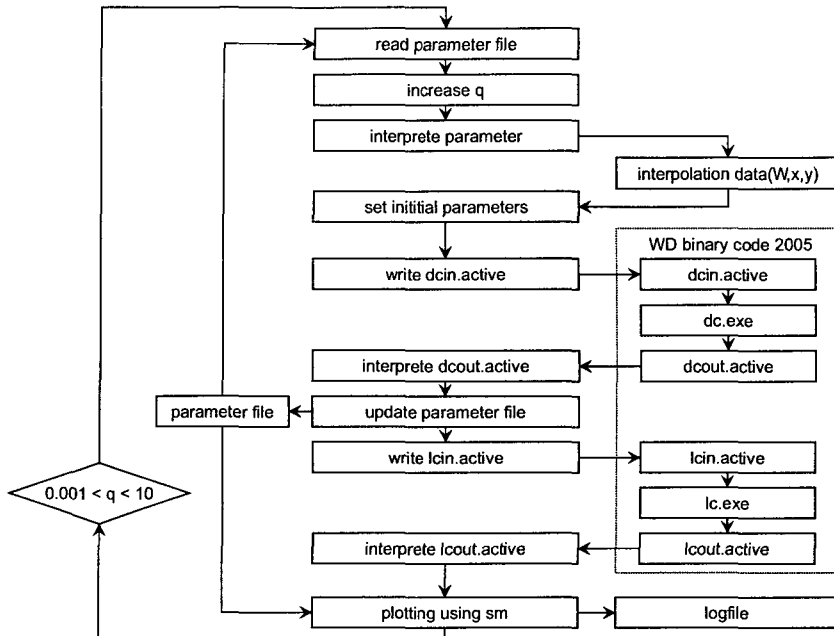


그림 1. 광도곡선분석 스크립트의 처리 순서도.

사용되기도 하지만 그렇지 않은 경우도 있으며, 물리적 의미를 갖는 물리인자들과 미분보정시에 물리인자들의 값들을 고정할지 아니면 미분보정을 통하여 새롭게 구할 것인지에 관여하는 조정인자로 나뉜다. 물리인자들은 두 성분별에 대하여 별도의 값들을 요구하기도 하는데, 두 성분별의 구별을 위하여 질량과 반경이 크고 온도가 높은 성분별을 주성(첨자 1), 그렇지 않은 경우를 반성(첨자 2)으로 정의한다.

각각의 물리인자가 적당한 범위 안에서 최적화된 값을 찾으려 하기 위하여 스크립트가 수행되는 동안 몇몇 물리인자의 값들을 참조하여 초기값을 갖도록 하였다. 분석모드(MODE)는 광도곡선의 형태 대상 분류에 의하여 정하며, 이 연구에서는 W UMa형 접촉쌍성으로 3을 설정하고, 이때의 광도곡선을 이용하여 기산점( $T_0$ )과 궤도주기(P)를 결정하였다. 각 성분별의 표면 온도( $T_1, T_2$ )는  $B - V$  색에 근거하여 초기온도를 설정하였다(Flower 1996). 주연감광지수는 지수함수( $LD = 2$ )를 가정하고, Van Hamme(1993)의 계산값에서 각 성분별의 온도에 해당하는 값으로 내삽하여 복사주연감광계수(bolometric limb darkening coefficient;  $X_1, X_2, Y_1, Y_2$ )와 각 파장별 인자( $x_1, y_1, x_2, y_2$ )를 초기값으로 사용하였다. 중력감광계수(gravitational limb darkening coefficient;  $g_1, g_2$ )는 각 성분 별의 온도를 고려하여 7200K 이하일 경우에는 대류껍질을 가지고 있다고 보고 그 값을 0.32로 설정하고, 그 이상일 경우에는 1.0으로 설정 하였다(Lucy 1967). 또한, 반사율(albedo;  $ALB_1, ALB_2$ )은 각 성분 별의 온도를 고려하여 7200K 이하일 경우에는 0.5로 설정하고, 그 이상일 경우에는 1.0으로 설정 하였다(Rucinski 1969). W UMa형 식쌍성의 경우에는 궤도가 가깝고 강한 조석력에 의하여 동기화된 궤도를 가지고 있다고 가정하여 이심율은 원궤도( $e = 0$ )를 가정하고, 동기화자전율(synchronous rotation;  $F_1, F_2$ )을 1.0으로 가정하였다. 한편, 입력자료는 광도의 제곱근에 반비례하도록 가중치를 두며, 이중반사(double reflection)를 설정하였다.

표 2. GSC2576-0319와 GSC2584-1731의 광도곡선상의 등급차.

object	$\phi^a$	$\Delta m_B$	$\Delta m_V$	$\Delta m_I$	$\Delta m_{B-V}$	$\Delta m_{V-I}$
GSC2576-0319	0.00-0.50	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
	0.25-0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00-0.25	0.14	0.13	0.11	0.01	0.01
	0.25-0.50	-0.12	-0.12	-0.11	0.00	-0.01
GSC2584-1731	0.00-0.50	0.05	0.05	0.04	0.01	0.01
	0.25-0.75	-0.04	-0.03	-0.03	-0.01	0.00
	0.00-0.25	0.30	0.28	0.26	0.02	0.01
	0.25-0.50	-0.24	-0.23	-0.22	-0.01	-0.01

<sup>a</sup> 광도곡선상에서의 위상을 의미함.  $\phi = 0.00$ 일 때를 주극심,  $\phi = 0.50$ 일 때를 부극심

#### 4. 광도곡선의 분석

광도곡선분석 스크립트를 이용하여 2개의 W UMa형 식쌍성에 대한 물리인자를 구하였다. 두 시스템 모두 질량비를 정확히 알 수 없기 때문에 광도곡선분석 스크립트의 질량비 찾기 조정인자(autoini)를 1로 설정하여 질량비를 0.01씩 증가시켜 가며, 관측치를 가장 잘 대표하는 이론적인 곡선의 물리인자들을 결정하였다. 표 2에 나타낸 바와 같이 GSC2576-0319와 GSC2584-1731 각각의 주극심( $\phi = 0.0$ )과 최대광도( $\phi = 0.25$ ) 때의 등급차( $\Delta m_V$ )는 0.13과 0.28로써 두 별 모두 광도곡선상 그 진폭이 매우 작은 특징을 가지고 있으며, GSC2576-0319의 경우에는 부극심을 기준으로 광도곡선의 좌우가 대칭으로 보이기 때문에 흑점을 고려하지 않았으나, GSC2584-1731의 경우에는 위상 0.25와 0.75에서 나타나는 비대칭을 설명하기 위하여 흑점모델을 도입하였다. 표 2에 광도곡선의 분석으로 구한 물리인자들을 정리하여 나타내었다. 여기서  $T_0$ 는 기산점, P는 궤도주기, q는 질량비,  $i$ 는 궤도경사각,  $\Omega$ 는 정규화된 위치에너지, T는 유효온도, X와 Y는 복사주연감광계수, x와 y는 파장별 복사주연감광계수, L은 파장별 전체광도에 대한 성분별의 광도, r은 성분별의 반지름을 의미하고, Longitude, Latitude, Radius, Temperature는 흑점의 위치와 크기 및 온도를 각각 나타낸다.

##### GSC2576-0319

주극심 및 부극심과 최대광도를 보이는 위상 0.25와 0.75에서의 등급차( $\Delta m$ )는 각 파장별로 0.14, 0.13, 0.11 등급이며, 그 형태는 마치 진폭이 작은  $\delta$ -Scuti형 변광성과 비슷하다. 또한 두 최대광도를 나타내는 위상을 기준으로 주기성을 구하면 약 0.18일 정도에 이른다. 따라서, GSC2576-0319는 주기와 광도변화 형태만 볼 경우 진폭이 작은  $\delta$ -Scuti형 변광성으로 분류하기 쉽다. 그러나, 표 2와 같이 다색 측광관측으로 구한 위상에 따른 색변화분석을 통하여 전 위상에 따라 온도가 일정한 결과를 얻었으며, 이를 근거로 Jin et al.(2004)은 이 천체를 W UMa형 식쌍성으로 재분류한 바 있다. W UMa형 식쌍성을 가정하고 GSC2576-0319의 물리인자를 구하기 위하여 표 1에 나타낸 Zacharias et al.(2004)의 B-V 색지수로 부터 색온도를 구하여 주성의 온도로 사용하였다. 광도곡선상에 나타나는 주극심과 부극심의 등급차( $\Delta m = 0.01$ )로 부터 아직 열적평형이 이루어지지 않았음을 고려하고 부성의 온도를 미분보정을 통하여 재결정 하도록 설정하였다. 광도곡선분석 스크립트를 이용하여 광도곡선을 가장 잘 대표하는 물리인자들을 구하였다. 광도곡선 분석 결과 그림 2(좌측 상단)의 위상 0.25와 0.75 부근에서 나타나는 작은 진폭의  $\delta$ -Scuti형 변광성의 특징은  $43.^\circ 5$ 의 낮은 궤도경사각으로 잘 설명할 수 있었다. 또한, 이 값은 Csizmadia & Klagyivik(2004)가 수집하여 발표한 W UMa형 물리인자 목록 중 가장 작은 값을 갖는 VZ Psc의 궤도경사각( $i = 36^\circ$ )에 이어 두번째로 작은 값이다. 그림 2(좌측 아래)에 GSC2576-0319의 Roche 기하를 나타내었다. 결론적으로 GSC2576-0319는 주성과 부성 모두 비슷한 온도를 가지고 있는 전형적인 W UMa형 식쌍성으로 아직 열적 평형이 이

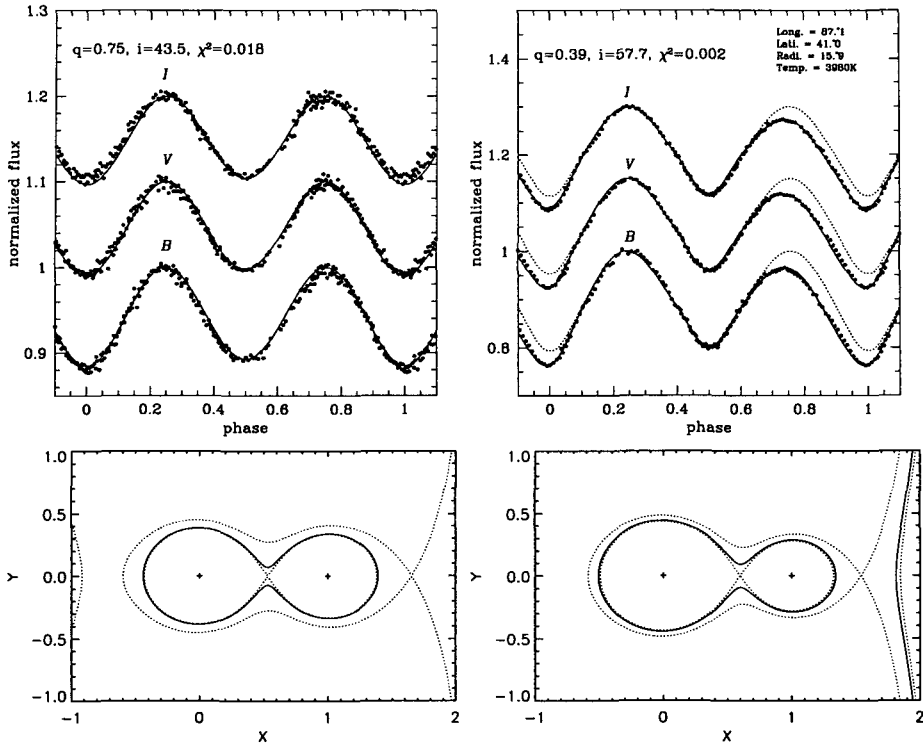


그림 2. GSC2576-0319(좌)와 GSC2584-1731(우)의 이론적인 광도곡선과 관측치 및 각각의 별에 대한 Roche 기하. 광도곡선상에 점들은 각 파장별 관측자료를 나타내고 실선은 광도곡선분석 스크립트를 이용하여 구한 이론적인 광도곡선이다.

루어 지지않은 단계에 있으며, 낮은 궤도경사각으로 인하여 광도곡선상에서 식의 깊이가 작아지게 됨을 확인하였다.

**GSC2584-1731**

앞서 구한 방법과 동일하게 Zacharias et al.(2004)의  $B - V$  색지수로 부터 주성의 온도를 구하고 광도곡선분석 스크립트를 이용하여 이때의 물리인자를 구하였다. GSC2584-1731는 광도곡선상 위상 0.25와 0.75에서 약 0.03 등급에 해당하는 비대칭 효과를 보이고 있으며, 색지수로 구한 주성의 온도(5260K)를 고려할 경우 주성의 대류층에서 발생한 자기장에 의해 흑점의 존재가 예상된다. 흑점인자를 결정하기 위한 과정으로 흑점에 의한 효과를 제거한 임시광도곡선을 만들었다. 임시광도곡선은 원본광도곡선의 위상 0.0에서 0.5에 이르는 부분을 부극심( $\phi = 0.5$ )을 기준으로 0.5에서 1.0부분으로 대칭시켜 저장하여 만들었다. 각 파장별로 생성된 임시광도곡선을 분석하여 물리인자들을 구하고, 이 값들을 원본광도곡선에 그대로 적용하여 이때의 흑점인자를 구하였다. 이때 결정된 물리인자와 흑점인자를 광도곡선분석 스크립트의 초기값으로 하여 최종적으로 구한 물리인자와 흑점인자를 표 3에 정리하였다. 그림 2(우측 상단)에서 점선은 임시광도곡선으로부터 구한 이론적인 곡선을 나타내며, 실선은 최종적으로 구한 이론적인 광도곡선을 나타낸다. 결론적으로 GSC2584-1731 또한 열적평형이 이루어 지지 않은 W UMa형 식쌍성으로 주성에 위치한 흑점으로 인하여 광도곡선의 비대칭 효과가 나타났다고 생각된다.

표 3. GSC2576-0319와 GSC2584-1731의 측광학적 해.

Parameter	GSC2576-0319		GSC2584-1731	
	Primary	Secondary	Primary	Secondary
$T_0$ (HJD)	2453125.14517(13)		2453128.01522(45)	
P(d)	0.367848(15)		0.422631(78)	
$q$	0.749(2)		0.384(1)	
$i$ ( $^\circ$ )	43.5(1)		57.6(1)	
$\Omega$	3.29602(76)		2.60230(253)	
T(K)	6510 <sup>a</sup>	6030(50)	5260 <sup>a</sup>	5190(10)
X	0.644 <sup>a</sup>	0.645 <sup>a</sup>	0.645 <sup>a</sup>	0.645 <sup>a</sup>
Y	0.209 <sup>a</sup>	0.194 <sup>a</sup>	0.194 <sup>a</sup>	0.179 <sup>a</sup>
$x_B$	0.837 <sup>a</sup>	0.845 <sup>a</sup>	0.845 <sup>a</sup>	0.850 <sup>a</sup>
$y_B$	0.138 <sup>a</sup>	0.093 <sup>a</sup>	0.093 <sup>a</sup>	0.040 <sup>a</sup>
$x_V$	0.760 <sup>a</sup>	0.776 <sup>a</sup>	0.776 <sup>a</sup>	0.790 <sup>a</sup>
$y_V$	0.233 <sup>a</sup>	0.204 <sup>a</sup>	0.204 <sup>a</sup>	0.164 <sup>a</sup>
$x_I$	0.605 <sup>a</sup>	0.622 <sup>a</sup>	0.622 <sup>a</sup>	0.637 <sup>a</sup>
$y_I$	0.252 <sup>a</sup>	0.235 <sup>a</sup>	0.235 <sup>a</sup>	0.213 <sup>a</sup>
$L/(L_1+L_2)_B$	0.652(1)	0.348	0.727(4)	0.273
$L/(L_1+L_2)_V$	0.632(14)	0.368	0.721(2)	0.279
$L/(L_1+L_2)_I$	0.611(6)	0.389	0.714(2)	0.286
$r$	0.4081	0.3574	0.4735	0.3112
Longitude( $^\circ$ )			87.1(1)	
Latitude( $^\circ$ )			41.0(1)	
Radius( $^\circ$ )			15.9(1)	
Temperature(K)			3980(55)	

<sup>a</sup>fixed parameter

### 5. 요약과 논의

2004년 5월 1일부터 5일까지 총 5일 밤에 걸쳐 Jin et al.(2003, 2004)의 선행연구에서 W UMa형 식쌍성으로 재분류된 변광성 중 광도곡선의 형태가 특이했던 2개의 별들(GSC2576-0319, GSC2584-1731)에 대해 레몬산천문대에서 BVI 고정밀 측광관측을 수행하여 광도곡선을 완성하였다. 선행연구에서 완성된 두 별의 광도곡선은 작은 진폭을 갖는  $\delta$ -Scuti형 변광성과 아주 흡사하였으며 측광정밀도가 충분히 높지 않아 변광성의 형태를 정확히 결정하는데 어려움이 있었던 반면, 우리는 이번 연구로부터 얻은 광도곡선의 분석을 통하여 W UMa형 식쌍성으로 쉽게 분류할 수 있었다.

반복적과정으로 인해 많은 시간이 소모되는 광도곡선 분석을 자동으로 수행하기 위한 광도곡선 분석 스크립트를 작성하였다. 이 스크립트는 식쌍성의 물리인자를 결정하는데 널리 사용되고 있는 Wilson-Devinney의 2005년도 개정판 쌍성코드의 초기 입력값을 자동으로 설정하고 보정하며, 매 계산이 수행될 때마다 그 결과를 그림과 텍스트 파일로 저장하기 때문에, 이를 통하여 최적의 물리인자를 쉽게 찾을 수 있다.

이 스크립트를 이용하여 GSC2576-0319와 GSC2584-1731의 광도곡선을 분석하고 각각의 물리인자들을 처음으로 구하였다. GSC2576-0319의 경우에는 질량비와 궤도경사각을 0.75, 43. $^\circ$ 5로 각각 구하였으며, 이때의 궤도경사각은 Csizmadia & Klagyivik(2004)가 수집한 W UMa형 식쌍성 중에서 가장 작은 궤도경사각을 갖는 VZ Psc에 이어 두번째로 작은 값에 해당한다. 한편, GSC2584-1731의 경우에는 질량비와 궤도경사각을 0.39, 57. $^\circ$ 6로 구하고, 광도곡선의 비대칭효과를 설명하기 위하여 주성에 흑점모형을 적용하여 흑점인자를 구하였다.

결론적으로 우리는 낮은 측광정밀도로 인하여 광도곡선의 형태가 특이했던 두 별의 원인을 고정밀 측광관측을 수행하여 GSC2576-0319는 낮은 궤도경사각 때문으로, GSC2584-1731는 흑점에 의한

효과으로 설명할 수 있었으며, 탐사관측을 통하여 분류된 변광성 중 두 별의 경우처럼 변광진폭이 작은 광도곡선의 분석을 위해서는 고정밀 후속 측광관측이 요구됨을 확인하였고, 이 연구를 위하여 작성된 광도곡선분석 스크립트는 성단 등 밀집지역 탐사관측에서 발견되는 식쌍성들의 물리인자들을 구하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 기대한다.

### 참고문헌

- 이충욱, 박성수, 김천휘, 변용익 2003, 한국우주과학회지, 20, 143
- Akerlof, C., Amrose, S., Balsano, R., Bloch, J., Casperon, D., Fletcher, S., Gisler, G., Hills, J., Kehoe, R., Lee, B., Marshall, S., McKay, T., Pawl, A., Schaefer, J., Szymanski, J., & Wren, J. 2000, *AJ*, 119, 1901
- Alcock, C., Allsman, R. A., Alves, D., Axelrod, T. S., Becker, A. C., Bennett, D. P., Cook, K. H., Freeman, K. C., Griest, K., Lacy, C. H. S., Lehner, M. J., Marshall, S. L., Minniti, D., Peterson, B. A., Pratt, M. R., Quinn, P. J., Rodgers, A. W., Stubbs, C. W., Sutherland, W., & Welch, D. L. 1997, *AJ*, 114, 326
- Csizmadia, Sz. & Klagyivik, P. 2004, *A&A*, 426, 1001
- Devor, J. 2005, *ApJ*, 628, 411
- Flower, P. 1996, *ApJ*, 469, 355
- Graczyk, D. 2003, *MNRAS*, 342, 1334
- Grison, P., Beaulieu, J.-P., Pritchard, J. D., Tobin, W., Ferlet, R., Vidal-Madjar, A., Guibert, J., Alard, C., Moreau, O., Tajahmady, F., Maurice, E., Prevot, L., Gry, C., Aubourg, E., Baryre, P., Brehin, S., Gros, M., Lachize-Rey, M., Laurent, B., Lesquoy, E., Magneville, C., Milsztajn, A., Moscoso, L., Queinnec, F., Renault, C., Rich, J., Spiro, M., Vigroux, L., Zylberajch, S., Ansari, R., Cavalier, F., & Moniez, M. 1995, *A&A*, 109, 447
- Jin, H., Kim, S.-L., Kwon, S.-G., Youn, J.-H., Lee, C.-U., Lee, D.-J., & Kim, K.-S. 2003, *A&A*, 404, 621
- Jin, H., Kim, S.-L., Lee, C.-U., Lee, D.-J., & Kim, K.-S. 2004, *AJ*, 128, 1847
- Lucy, L. B. 1967, *Zeitschrift fur Astrophysik*, 65, 89
- Michalska, G. & Pigulski, A. 2005, *A&A*, 434, 89
- Oblak, E., Kurpinska-Winiarska, M., Kundera, T., Zola, S., & Dworak, T. Z. 1998, *HiA*, 11, 569
- Rucinski, S. M. 1969, *Acta Astronomica*, 19, 245
- Tamuz, O., Mazeh, T., & North, P. 2006, *MNRAS*, 367, 1521
- Tamuz, O., Mazeh, T., & Zucker, S. 2005, *MNRAS*, 356, 1466
- Van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 209
- Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605
- Wyithe, J. S. B. & Wilson, R. E. 2001, *ApJ*, 559, 260
- Wyrzykowski, L., Udalski, A., Kubiak, M., Szymanski, M., Zebrun, K., Soszynski, I., Wozniak, P. R., Pietrzynski, G., & Szweczyk, O. 2003, *Acta Astronomica*, 53, 1
- Zacharias, N., Monet, D. G., Levine, S. E., Urban, S. E., Gaume, R., & Wycoff, G. L. 2004, *AAS*, 205, 4815