

대마젤란은하 식쌍성 EROS 1010의 광도곡선 분석

홍경수, 강영운[†]

세종대학교 천문우주학과, 우주구조와 진화연구센터

Light Curve Analyses of the Eclipsing Binary EROS 1010 in the Large Magellanic Cloud

Kyeong-soo Hong and Young-Woon Kang[†]

Dept. of Astronomy and Space Science, and Astrophysical Research Center for the Structure and Evolution of the Cosmos (ARCSEC), Sejong University, Seoul 143-747, Korea

E-mail: kangyw@sejong.ac.kr, kshong@sju.ac.kr

(Received May 19, 2009; Accepted May 29, 2009)

요 약

대마젤란은하 중심부에 위치한 식쌍성 EROS 1010에 대한 CCD 측광관측을 2006년과 2007년에 수행하여 BV 광도곡선을 완성하였다. BV 광도곡선은 EROS팀과 OGLE팀이 각각 관측한 BR 과 I 광도곡선과 함께 Wilson & Devinney 차등보정법으로 분석하여 측광학적인 해를 제시하였다. 한편 대마젤란은하의 거리지수를 $m-M = 18.^m3 \sim 18.^m5$ 사이로 가정하고, EROS 1010에 대한 절대량을 구하였다.

Abstract

We present BV light curves of EROS 1010 which is located in the central bar of the Large Magellanic Cloud. The BV light curves including BR and I light curves observed by the EROS and OGLE projects, have been analyzed using the 2005 version of the Wilson & Devinney Differential Correction program for the photometric solutions. The absolute dimensions of EROS 1010 were calculated by adopting the distance modulus of the Large Magellanic Cloud, $m-M = 18.^m3 \sim 18.^m5$.

Keywords: eclipsing binaries, LMC, data analysis

1. 서 론

식쌍성의 연구는 별의 기본인자, 즉 별의 온도, 반경, 질량 등을 MKS 단위로 구할 수 있는 특징이 있다. 우리은하에서는 현재까지 약 4500개의 식쌍성이 발견되었다. 이 중에서 3653개는 Finding list(Wood et al. 1980)에 수록되었고, 933개는 은하 중심부에서 OGLE팀(Udalski et al. 1994, 1995a,b)이 발견하였다. 이들 중 약 300개의 식쌍성에 대하여 기본인자가 MKS단위로 발표되었다. 또한 외부은하인 대마젤란은하에서 약 3000개의 식쌍성이 발견되었다. 이 중에서 MACHO팀(Alcock et al. 1997a)이 611개, OGLE팀(Wyrzykowski et al. 2003)이 2580개를 각각 발견하였다. 소마젤란은하에서는 약 1500개의 식쌍성이 발견되었다. 이 중에서 MoA팀(Bayne et al. 2002)이 167개, OGLE

[†]corresponding author

팀(Udalski et al. 1998a)이 1459개를 각각 발견하였다. 이는 1990년대 중반부터 중력렌즈를 이용하여 대규모로, 암흑물질을 탐사하는 관측들이(EROS팀: Grison et al. 1995, MACHO팀: Alcock et al. 1997b, OGLE팀: Wyrzykowski et al. 2003) 수행되면서, 부산물로 많은 변광성들이 발견되어 우리 은하 보다는 외부은하에서 발견된 식쌍성의 수가 더 많게 되었다. 현재 대마젤란은하에서 약 3000개 이상의 식쌍성이 발견되고 광도곡선이 완성되었다. 그러나 탐사관측에서 수행된 식쌍성의 광도곡선을 이용하여 별의 기본인자를 발표하는 논문은 극히 제한되어 있다. 이는 탐사관측으로 완성된 광도곡선들이 관측오차가 상대적으로 크기 때문이고, 또한 다 파장 영역의 관측이 아니기 때문이다. 그러므로 대마젤란은하의 식쌍성은 주로 Harvard photography plates 에서 발견된 변광성들을 각 개인 연구자들이 측광 및 분광관측을 수행하여 현재 HV 982(Fitzpatrick et al. 2002, Clausen et al. 2003), HV 2241(Ostrov et al. 2001, Pritchard et al. 1998, Niemela & Bassino 1994), HV 2543(Ostrov et al. 2000), HV 2274(Groenewegen & Salaris 2001, Nelson et al. 2000), HV 5936(Bell et al. 1993, Jensen et al. 1988) HV 12578(Clausen et al. 2003), SK-67 105(Ostrov & Lapasset 2003), EROS 1044(Ribas et al. 2002) 등등 약 10개의 식쌍성에 대하여 기본인자들을 발표하였다.

외부은하 특히 대마젤란은하에 있는 식쌍성의 연구는 특별한 의미를 갖는다. 왜냐하면 대마젤란은하가 우리은하와 가까운 거리에 위치함에도 불구하고 화학 조성은 $[Fe/H] = -0.65$ (Russell & Bessell 1989)로 우리은하 평면의 화학 조성과 매우 다르기 때문이다. 그러므로 대마젤란은하에서 발견된 식쌍성을 연구하면 우리은하와는 다른 화학조성의 환경에서 진화하는 조기형 별에 대한 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대하기 때문이다.

이 논문에서는 대마젤란은하의 중심부에 위치한 직사각형 형태의 별 밀집 지역에 위치한 식쌍성 EROS 1010을 EROS, MACHO, OGLE 등의 탐사관측에 이어 후속관측을 수행하여 보다 정밀한 BV 광도곡선을 완성하여 측광학적인 해와 더불어 절대량을 구하였다.

2. 관측과 자료처리

식쌍성 EROS 1010은 1991년부터 EROS, OGLE, MACHO 등 탐사관측 팀들이 측광관측을 수행하여 광도곡선을 완성하였으나 경우에 따라서 ± 0.1 등급 이상의 관측오차를 보이고 식 바깥 부분의 폭은 0.2 등급까지 되는 경우가 있어, 측광학적인 해를 구하기에 적합하지 않다. 그러므로 정밀한 측광학적인 해를 구하기 위하여 우리는 대마젤란은하에서 이미 식쌍성으로 알려진 EROS 1010에 대하여 B 와 V 를 사용하여 후속 관측을 수행하였다. 후속관측은 2006년 2월 26일부터 3월 7일까지 10일간, 그리고 2007년 1월 16일부터 30일까지 15일간, 총 25일간 칠레에 위치한 CTIO(Cerro Tololo Inter-American Observatory)에서 1.0m 망원경과 4K CCD 카메라를 이용하여 B 와, V 영역에서 각각 600초와 400초 노출하여 관측하였다.

관측을 수행한 지역은 별이 밀집된 지역이므로 전처리 과정과 함께 PSF(Point Spread Function) 측광을 IRAF를 이용하여 수행하였다. 전처리 과정에서는 영점영상과 바닥고르기 영상을 이용하여 4k CCD의 기기적인 효과를 제거하였다. 별들이 밀집되어 있는 지역에서는 각 영상들 간의 별들이 동일한 별임을 확인하기 위하여 Stetson(1994)의 stand-alone 프로그램에서 DAOMATCH와 DAOMASTER을 이용하여 각 영상들 간의 좌표차이를 보정하여, 각 영상에 나타나는 별들의 좌표를 동정하였다.

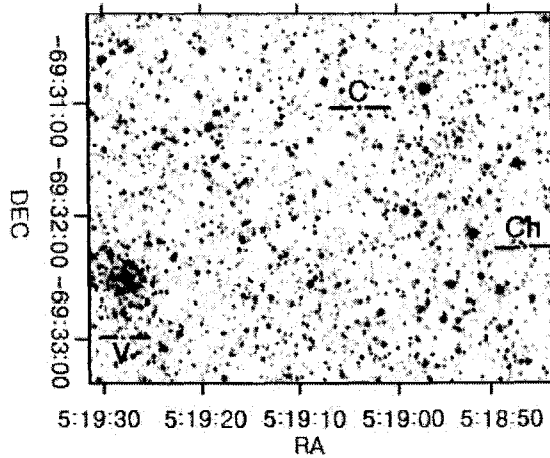


그림 1. EROS 1010의 finding chart. V: EROS 1010($\alpha : 05^{\text{h}}19^{\text{m}}00^{\text{s}}$, $\delta : -69^{\text{d}}30^{\text{m}}55^{\text{s}}$), C: 최종 비교성($\alpha : 05^{\text{h}}18^{\text{m}}43^{\text{s}}$, $\delta : -69^{\text{d}}32^{\text{m}}10^{\text{s}}$), Ch: 검토성($\alpha : 05^{\text{h}}19^{\text{m}}25^{\text{s}}$, $\delta : -69^{\text{d}}32^{\text{m}}59^{\text{s}}$).

우리의 관측 지역인 대마젤란은하의 중심지역은 별들이 밀집되어있으므로 관측 정확도를 높이기 위하여 비교성을 이용한 등급차이(Δm)를 이용하여 광도곡선을 얻었다. 이를 위하여 우리는 밀집된 영역에서 비교성을 선정하는 프로그램을 개발하여 비교성과 검토성을 선정하였다. 이 프로그램에서 고려한 조건으로는 1차로 측광오차가 적은 별을 비교성 후보로 선정하여, 이들 사이의 등급차이의 표준편차가 $0.^{\text{m}}01$ 이하로 나타나는 별을 비교성으로 선정하고, 선정된 비교성중에서 EROS 1010의 색지수와 겉보기 등급이 각각 ± 0.14 과 ± 14 등급의 범위에 있는 비교성을 2차로 선정하고, 3차로 EROS 1010을 중심으로 시야각 2.5분 이내에 있는 비교성들을 선정하였다. 이 중에서 표준편차가 가장 적은 2개의 비교성을 선정하여 각각 최종 비교성과 검토성으로 결정하여 등급차이를 구하여 BV 광도곡선을 완성하였다. EROS 1010, 최종 비교성과 검토성의 finding chart는 그림 1에 제시하였다. 그림 1에서 V로 표시한 것은 EROS 1010이고, C와 Ch로 표시한 것은 각각 최종 비교성과 검토성이다.

3. 주기결정

EROS 1010은 대마젤란은하 중심부에 위치하기 때문에 우리관측을 포함하여 여러 탐사관측이 수행 될 때마다 측광관측에 포함되어 약 16년간의 측광관측 역사를 가지고 있다. 그러나 탐사관측들은 하루에 각 별에 대하여 1-3 관측점을 얻는 관측 방법을 사용하였으므로 식쌍성계의 극심 시각을 구할 수가 없었다. 그러므로 상대적으로 관측오차가 적은 우리의 BV 관측과 OGLE팀의 I 관측 자료를 수집하여 관측 자료를 위상과 밝기 대신에 줄리안날짜와 밝기로 입력하고, 우리가 얻은 극심시각 $JD_{\text{Hel}} 2454123.6696$ 을 기산점으로 입력한 후, 총 970 관측점을 만족하는 최적의 기산점과 주기를 Wilson & Devinney(1971, 이후부터는 WD라고 칭함) 차등보정법 2005년 판을 사용하여 아래와 같

표 1. 색지수 (B-V)와 유효온도의 상관관계 변환계수(Surina 2009).

변환계수	값
C ₁	3.9838474132
C ₂	-0.7815630206
C ₃	1.8914046049
C ₄	-3.5079388084
C ₅	3.4961529744
C ₆	-1.7360914742
C ₇	0.3382552457

이 결정하였다.

$$Min. I = JD Hel.2454123.6882(7) + 1^d.3099418(4)E. \tag{1}$$

EROS팀이 관측한 자료는 태양 중심의 날짜(HJD) 결정에 오류가 있는 것으로 판단되어 주기결정에서 제외하였고, 위에 제시한 광도요소를 이용하여 관측점에 대한 위상을 구하였다.

4. 광도곡선 분석

앞 절에서 제시한 광도요소를 사용하여 우리의 2006년과 2007년도 관측을 합하여 BV 광도곡선을 완성하고, EROS팀과 OGLE팀이 발표한 관측자료를 이용하여 BR 광도곡선과 I 광도곡선을 각각 완성하였다. 광도곡선은 관측오차가 상대적으로 적은 우리의 광도곡선을 우선적으로 분석하여 측광학적인 예비 해를 구하고, 예비 해를 기준으로 모든 관측을 다 포함하는 최종적인 해를 구하는 방식으로 광도곡선을 분석하였다. 광도곡선을 분석하기 위하여 관측으로부터 얻은 태양 중심의 줄리 안날짜(HJD)와 등급차이(Δ*m*)를 공전주기 위상과 규격화한 플럭스로 전환하고, 각 광도곡선을 약 120개의 대표점으로 표현될 수 있도록 3-20개의 관측점을 평균하여 대표점을 만들었다. 광도곡선을 분석하는 도구로는 WD 차등보정법 2005년 판을 사용하였다.

WD 차등보정법은 주성과 반성의 온도비를 광도곡선의 형태 및 식의 깊이로부터 비교적 정확히 구할 수 있지만 온도 자체는 구할 수 없다. 그러므로 온도는 측광관측에서 산출된 색지수를 이용하여 얻거나, 분광관측에서 얻은 파장별 에너지 분포로부터 얻을 수 있다. 이 논문에서는 측광학적으로 EROS 1010의 온도를 구하기 위하여, OGLE팀이 색지수를 얻기 위하여 관측한 B, V 값을 이용하여 식 바깥 부분에서 색지수를 $(B - V)_{obs} = 0.08$ 로 결정하였다. 또한 성간적색화를 보정하기 위하여 색초과를 문헌에서 조사한 결과, 대마젤란은하의 개개 별에 대한 색초과(우리는하 색초과 포함)는 조사자에 따라서 $E(B - V) = 0.06$ 에서 $E(B - V) = 0.20$ (Ribas et al. 2002, Guinan et al. 1998, Fitzpatrick et al. 2002, Ostrov et al. 2000)까지 넓은 분포를 보인다. 우리는 이들 문헌에서 발표한 평균 색초과값 $E(B - V)_{mean} = 0.12$ 도입하여 $(B - V)_{intrinsic}$ 을 구한 후 Surina(2009)가 제시한 B - V와 유효온도의 상관관계식:

$$\log T = C_1 + C_2(B - V)^1 + C_3(B - V)^2 + C_4(B - V)^3 + C_5(B - V)^4 + C_6(B - V)^5 + C_7(B - V)^6. \tag{2}$$

을 이용하여, EROS 1010 쌍성계의 온도, 즉, 두 성분별의 광도에 따른 평균 온도를 10,430K로 결정하고 이 값을 주성 온도의 초기값으로 사용하였다. Surina(2009)가 제시한 상관관계의 계수는 표 1에

표 2. EROS 1010 측광학적인 해.

인자	초기값	최종값	오차
i	90.0	83.0070	± 0.7229
T_1	1.0432	1.0617	
T_2	0.9962	1.0265	± 0.2372
Ω_1	4.000	4.0759	± 0.0712
Ω_2	4.333	4.2919	± 0.2009
q	0.800	0.7817	± 0.0485
$L_1/(L_1 + L_2)_B^+$		0.6349	± 0.0239
$L_1/(L_1 + L_2)_V^+$		0.6305	± 0.0227
$L_1/(L_1 + L_2)_B^{**}$		0.6349	± 0.0237
$L_1/(L_1 + L_2)_R^{**}$		0.6276	± 0.0220
$L_1/(L_1 + L_2)_I^{***}$		0.6249	± 0.0206
X_{1B}^*	0.690	0.6330	± 0.2553
X_{1V}^*	0.592	0.5220	± 0.2632
X_{1B}^{**}	0.690	-0.1960	± 0.4278
X_{1R}^{**}	0.488	-2.9410	± 1.5265
X_{1I}^{***}	0.392	0.6690	± 0.2619
X_{2B}^*	0.711	0.8380	± 0.3763
X_{2V}^*	0.608	-1.4960	± 1.4342
X_{2B}^{**}	0.711	0.9060	± 0.3138
X_{2R}^{**}	0.499	0.3200	± 0.5741
X_{2I}^{***}	0.399	1.3600	± 0.1817
g_1	1.0	1.0	
g_2	1.0	1.0	
A_1	1.0	1.0	
A_2	1.0	1.0	

*: 우리관측, **: EROS 관측, ***: OGLE 관측

수록하였다. 질량비는 두 식의 깊이를 고려하여 $q = 0.8$ 을 초기값으로 사용하고, 중력감광지수는 별의 온도가 약 10,000K 정도가 되므로 대류 외부층 보다는 복사 외부층을 고려하여 $g_1 = g_2 = 1.0$ 을 초기값으로 사용하고, 반사도도 복사 외부층을 고려하여 $A_1 = A_2 = 1.0$ 을 초기값으로 사용하였다. 한편 주변감광계수는 van Hamme(1993)가 온도와 중력에 따라 이론적으로 구한 값으로 사용하였고, 각 인자의 초기값은 표 2에 제시하였다.

앞에서 선정된 초기값과 함께 WD 차등보정법의 Mode 2를 이용하여 광도, 궤도 기울기, 반성의 온도, 그리고 두 별의 포텐셜을 1차적으로 2-3회 반복 보정하고, 광도, 주변감광 계수 등을 2차적으로 반복 보정하여 관측값과 인자값의 잔차제곱의 합($\sum \omega(O - C)^2$)이 최소인 값을 최종적으로 결정하였다. 표 2에는 인자의 초기값과 함께 최종값들을 수록하였다. WD 차등보정법을 사용할 때, 광도 값(L)은 규격화된 광도곡선의 그래프에서 수직적인 이동만 나타내므로 초기값의 의미가 없어 표 2에는 초기값을 제시하지 않았다.

색지수로 결정한 쌍성계의 온도는 쌍성의 두 성분별의 광도에 따른 평균 온도($T_{mean} = 10,432$)이며, 색지수로 구한 평균 온도를 주성 온도의 초기값으로 사용하고, 반성의 온도만을 조정하였으므로 차등보정법의 결과로 산출된 온도비(T_2/T_1)와 아래 식(Kang et al. 2004):

$$T_1 = \left\{ \frac{(1 + R_{ratio}^2) T_{mean}^4}{1 + R_{ratio}^2 T_{ratio}^4} \right\}^{0.25}$$

$$T_2 = T_1 T_{ratio} \quad (3)$$

표 3. EROS 1010의 상대적인 반경.

인자	최종값	인자	최종값
r_1 (pole)	0.2994 ± 0.0071	r_2 (pole)	0.2430 ± 0.0145
r_1 (point)	0.3233 ± 0.0108	r_2 (point)	0.2546 ± 0.0179
r_1 (side)	0.3070 ± 0.0080	r_2 (side)	0.2451 ± 0.0150
r_1 (back)	0.3167 ± 0.0094	r_2 (back)	0.2515 ± 0.0167

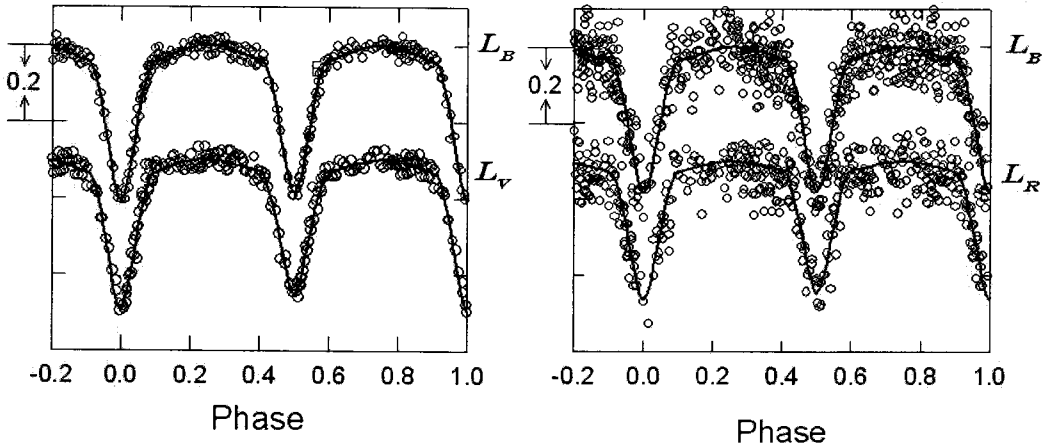


그림 2. EROS 1010의 광도곡선. 왼쪽은 2006년과 2007년에 CTIO에서 수행한 우리의 후속관측으로 완성한 BV 광도곡선과 이론적인 광도곡선이다. 오른쪽은 EROS팀이 관측한 BR 광도곡선이다. 우리의 BV 광도곡선의 관측오차는 각각 $\pm 0.^m038$ 과 $\pm 0.^m048$ 이고 EROS BR 광도곡선의 관측오차는 $\pm 0.^m088$ 과 $\pm 0.^m091$ 이다.

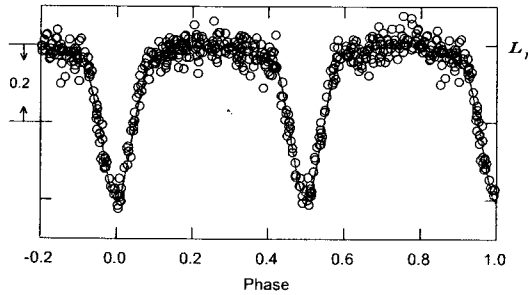


그림 3. OGLE팀이 관측한 I 광도곡선. OGLE팀이 관측한 I 광도곡선(오른쪽)의 관측오차는 $\pm 0.^m044$ 이다.

을 이용하여 두 별의 최종적인 온도로 $T_1 = 10,617\text{K}$ 와 $T_2 = 10,139\text{K}$ 로 결정한 후 종합적으로 모든 인자를 다시 조정하였다. EROS 1010의 측광학적인 해를 표 2에 수록하였고, 상대적인 반경은 표 3에 수록하였다. 그림 2는 우리가 관측한 EROS 1010의 BV 광도곡선과 EROS팀이 관측한 BR 광도곡선이고, 그림 3은 OGLE팀이 관측한 I 광도곡선이다, 그림 2와 3의 실선은 WD 차등보정법으로 구한 이론적인 광도곡선으로서 각각의 관측점들을 잘 대표하고 있다. 표 2에 주어진 질량비($q = 0.78$)와 표면포텐셜($\Omega_1 = 4.08, \Omega_2 = 4.29$)을 사용하여, 이 쌍성계의 위상에 따른 3차원 모형과 로쉬로브를

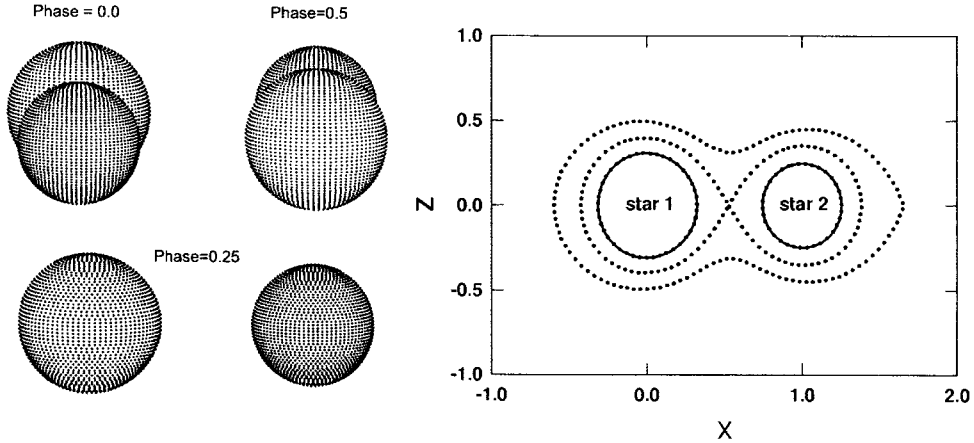


그림 4. 위상에 따른 EROS 1010의 3차원 모형과 로쉬로브. 오른쪽 그림의 점선은 안쪽 로쉬 주머니와 바깥쪽 로쉬 주머니를 나타낸다.

표 4. EROS 1010의 절대 물리량.

m-M	kpc	$m_{1\odot}$	$m_{2\odot}$	$R_{1\odot}$	$R_{2\odot}$	$Mv_{1\odot}$	$Mv_{2\odot}$
18. ^m 30	45.77	6.00	4.70	3.37	2.78	-0.24	0.28
18. ^m 40	47.95	6.90	5.40	3.53	2.91	-0.34	0.17
18. ^m 50	50.06	7.86	6.14	3.69	3.04	-0.43	0.08

그림 4에 제시하였다.

5. 절대량

별의 절대량은 광도곡선의 분석으로부터 얻은 별의 온도, 별의 상대 반경, 기울기 등과 시선속도 곡선에서 얻은 질량비와 쌍성 궤도의 장반경을 이용하여 구한다. 그러나 EROS 1010의 거리를 대마젤란은하의 평균 거리로 가정하면, 쌍성의 이중 시선속도 곡선이 없어도 절대량을 구할 수 있다. 현재까지 발표된 대마젤란은하까지의 거리는 많은 연구자들이 다양한 천체를 이용하여 조사하였음에도 불구하고 불확실성은 10% 이상이다. RR Lyrae와 red clump stars로 측정한 값은 $m-M \sim 18.^m3$ (Layden et al. 1996, Udalski et al. 1998b, Stanek et al. 1998) 정도이고, 세페이드 변광성을 이용한 결과는 $m-M \sim 18.^m5 - 18.^m7$ (Madore & Freedman 1998, Feast & Catchpole 1997) 정도이고, 식쌍성을 이용한 결과는 $m-M \sim 18.^m2 - 18.^m5$ (Fitzpatrick et al. 2002, Guinan et al. 1998, Ostrov & Lapasset 2003, Ribas et al. 2002) 정도로 나타난다. 그러므로 이 논문에서는 대마젤란은하까지의 거리를 최대 50 kpc(거리지수 18.^m5)로 가정하고, 쌍성의 각 성분별의 광도를 간단히 $L = 4\pi r^2 \sigma T^4$ 을 이용하여 구하고, 각 별의 온도에 알맞은 복사보정을 사용하여 각 성분별 및 쌍성계의 절대등급을 구하였다. 복사보정은 Flower(1996)가 제시한 유효온도와 복사보정과의 상관관계에서 구하였다. 여기서 태양의 절대 복사등급은 4.7등급으로 가정하였다. 쌍성계의 궤보기 등급은 OGLE팀이 제시한 자료를 이용하여 우리가 식 바깥 부근에서 구한 $B = 17.^m87$ 과 $V = 17.^m79$ 를 사용하고, 우리은하의 흡수를 포

표 5. 대마젤란은하 식쌍성의 색지수와 절대등급.

별이름	$(B - V)_1$	M_{v1}	$(B - V)_2$	M_{v2}
EROS 1010	0.010	-0.24	0.010	0.28
EROS 1044	-0.241	-1.90	-0.233	-2.82
HV 5936	-0.284	-2.75	-0.223	-2.34
HV 982	-0.259	-3.44	-0.256	-3.61
HV 2241	-0.319	-5.10	-0.310	-4.80
HV 2543	-0.301	-5.40	-0.311	-5.00

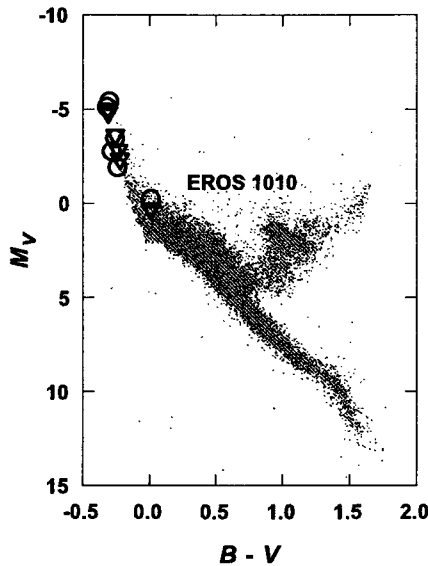


그림 5. $(B - V)$ 와 M_v 로 나타낸 H-R도. EROS 1010의 절대값과 문헌에서 구한 대마젤란은하에 속한 식쌍성의 절대값을 이용하여 Hipparcos 관측자료와 함께 그렸다. 열린 원과 삼각형은 각각 식쌍성의 주성과 반성을 뜻한다.

함한 대마젤란은하 방향의 색지수 $E(B - V) = 0.07$ (Ribas et al. 2002)과 $V_0 = V_{obs} - 3.2E(B - V)$ 를 이용하여 성간적색화를 보정한 겉보기 등급 V_0 를 구하고, 거리지수를 구하였다. 거리지수가 $18.^m3$ 에서 $18.^m5$ 사이의 EROS 1010의 절대량을 표 4에 수록하였다.

6. 검토와 토의

우리가 구한 EROS 1010의 절대값($m - M = 18.^m5$ 가정)과 대마젤란은하에 속한 식쌍성의 절대값을 문헌에서 조사하여 표 5에 수록하였고, Hipparcos 관측과 함께 H-R도에 표시하여, 그림 5에 그렸다. 대마젤란은하에 속한 식쌍성들은 모두 주계열 상층부에 속하고, EROS 1010은 그 중 가장 온도가 낮고 밝기가 상대적으로 어두운 주계열성으로 나타났다.

우리의 후속관측에 의한 B 와 V 광도곡선은 대마젤란은하에 속한 식쌍성의 측광학적인 해를 구

하는데 충분한 정확도를 가지는 광도곡선임을 확인하였다. 그러나 EROS팀이 관측한 광도곡선은 식쌍성의 발견과 식쌍성의 종류를 구분하는 작업에는 큰 공헌을 하였지만 일부 밝은 별을 제외하면, 측광학적인 해를 구하기에는 광도곡선의 정확도가 미흡한 것으로 판명되었다. 또한 OGLE팀이 1.3m 망원경을 이용하여 관측한 *I* 광도곡선은 해를 구하는데 충분한 정확도를 가지고 있다고 판단된다. 그러므로 오늘날 1.3m급 망원경으로 대마젤란은하와 소마젤란은하에 위치한 식쌍성을 측광관측하여 해를 구하는 것은 큰 무리가 없는 것으로 판단된다. 현재까지 발표된 대마젤란은하의 거리는 거리 측정에 사용된 천체에 따라서 10% 이상의 차이를 보이고 있다. 그러므로 대마젤란은하에 대한 거리의 정확도를 높이기 위하여 보다 많은 식쌍성의 해를 구하고 시선속도곡선과 함께 각 식쌍성들의 절대량과 거리를 구하는 작업이 요구된다.

향후 연구계획으로는 대마젤란은하에 속한 EROS 1010을 포함한 더 많은 쌍성들의 절대량을 조사하여, 화학조성이 다른 환경에서 진화하는 조기형 별에 대한 정보를 얻어 우리은하에 속한 쌍성과 비교 할 예정이다.

감사의 글: 이 논문은 교육과학기술부, 한국과학재단이 지원하는 우주구조와 진화연구센터의 연구비로 수행하였습니다.

참고문헌

- Alcock, C., Allsman, R. A., Alves, D., Axelrod, T. S., Becker, A. C., Bennett, D. P., Cook, K. H., Freeman, K. C., Griest, K., Guern, J., Lehner, M. J., Marshall, S. L., Peterson, B. A., Pratt, M. R., Quinn, P. J., Rodgers, A. W., Stubbs, C. W., Sutherland, W., Welch, D. L., & The MACHO Collaboration 1997a, *ApJ*, 486, 697
- 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. 1997b, *AJ*, 114, 326
- Bayne, G., Tobin, W., Pritchard, J. D., Bond, I., Pollard, K. R., Besier, S. C., Noda, S., Sumi, T., Yanagisawa, T., Sekiguchi, M., Honda, M., Muraki, Y., Takeuti, M., Hearnshaw, J. B., Kilmartin, P. M., Dodd, R. J., Sullivan, D. J., & Yock, P. C. M. 2002, *MNRAS*, 331, 609
- Bell, S. A., Hill, G., Hilditch, R. W., Clausen, J. V., & Reynolds, A. P. 1993, *MNRAS*, 265, 1047
- Clausen, J. V., Storm, J., Larsen, S. S., & Gimenez, A. 2003, *A&A*, 402, 509
- Feast, M. W. & Catchpole, R. M. 1997, *MNRAS*, 286, 1
- Fitzpatrick, E. L., Ribas, I., Guinan, E. F., DeWarf, L. E., Maloney, F. P., & Massa, D. 2002, *ApJ*, 564, 260
- Flower, P. J. 1996, *ApJ*, 469, 355
- 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., Bareyre, P., Brehin, S., Gros, M., Lachieze-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&AS*, 109, 447
- Groenewegen, M. A. T. & Salaris, M. 2001, *A&A*, 366, 752
- Guinan, E. F., Fitzpatrick, E. L., Dewarf, L. E., Maloney, F. P., Maurone, P. A., Ribas, I., Pritchard, J. D., Bradstreet, D. H., & Gimenez, A. 1998, *ApJ*, 509, 21
- Jensen, K. S., Clausen, J. V., & Gimenez, A. 1988, *A&AS*, 74, 331
- Kang Y. W., Hong K. S., & Kim H. I. 2004, *NewAR*, 48, 711
- Layden, A. C., Hanson, R. B., Hawley, S. L., Klemola, A. R., & Hanley, C. J. 1996, *AJ*, 112, 2110
- Madore, B. F. & Freedman, W. L. 1998, *ApJ*, 492, 110
- Nelson, C. A., Cook, K. H., Popowski, P., & Alves, D. R. 2000, *AJ*, 119, 1205
- Niemela, V. S. & Bassino, L. P. 1994, *ApJ*, 437, 332
- Ostrov, P. G. & Lapasset, E. 2003, *MNRAS*, 338, 141
- Ostrov, P. G., Lapasset, E., & Morrell, N. I. 2000, *A&A*, 356, 935
- Ostrov, P. G., Morrell, N. I., & Lapasset E. 2001, *A&A*, 377, 972
- Pritchard, J. D., Tobin, W., Clark, M., & Guinan, E. F. 1998, *MNRAS*, 297, 278
- Ribas, I., Fitzpatrick, E. L., Maloney, F. P., Guinan, E. F., & Udalski, A. 2002, *ApJ*, 574, 771
- Russell, S. C. & Bessell, M. S. 1989, *ApJS*, 70, 865
- Stanek, K. Z., Zaritsky, D., & Harris, J. 1998, *ApJ*, 500, 141
- Stetson, P. B. 1994, *PASP*, 106, 250
- Surina, F. 2009 Master thesis, Sejong University
- Udalski, A., Kubiak, M., Szymanski, M., Kaluzny, J., Mateo, M., & Krzeminski, W. 1994, *AcA*, 44, 317
- Udalski, A., Olech, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., Mateo, M., & Krzeminski, W. 1995a, *AcA*, 45, 433
- Udalski, A., Soszynski, I., Szymanski, M., Kubiak, M., Pietrzynski, G., Wozniak, P., & Zebrun, K. 1998a, *AcA*, 48, 563
- Udalski, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., Mateo, M., & Krzeminski, W. 1995b, *AcA*, 45, 1
- Udalski, A., Szymanski, M., Kubiak, M., Pietrzynski, G., Wozniak, P., & Zebrun, K. 1998b, *AcA*, 48, 1
- van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 2096
- Wilson R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 234,1054
- Wood, F.B., Oliver, J. P., Florkowski, D. R., & Koch, R. H. 1980, *A Finding List for Observers of Interacting Binary Stars* (Philadelphia: Univ. Pennsylvania Press)
- Wyrzykowski, L., Udalski, A., Kubiak, M., Szymanski, M., Zebrun, K., Soszynski, I., Wozniak, P., Pietrzynski, G., & Szewczyk, O. 2003, *AcA*, 53, 1