

CCD 이미지 상의 그 위치와 ΔM 광도곡선의 기울기[†]

정장해^{1†}, 임인성²

¹충북대학교 천문우주학과

²한국천문연구원 천문정보연구그룹

THE SLOPE OF ΔM LIGHT CURVE DEPENDING UPON THE ITS LOCATION IN CCD FRAME[†]

J. H. Jeong^{1†}, I. S. Yim²

¹Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

²Korea Astronomy Observatory

E-mail: jeongjh@astro.chungbuk.ac.kr, yim@kao.re.kr

(Received November 30, 2001; Accepted December 16, 2001)

요 약

보현산천문대의 1.8m 망원경과 CCD 측광장치를 이용하여 1999년 10월 20일 밤에 얻은 V523 Cas 근처의 약 $12' \times 12'$ 시야를 찍은 124장의 이미지를 처리하여 측광 정밀도를 계산하는 과정에서 Δm 광도곡선의 기울기가 별마다 다르다는 사실을 발견하였다. 관련 여러 항목들 간의 인자분석을 함으로서, 그 기울기가 CCD 프레임 상의 위치와 관련성이 높음을 알아 내고, 그 결과 CCD의 우하부에서 좌상부 쪽으로 감광감도를 저하시키는 요인이 시간이 흐름에 따라 점점 심하게 작용했다고 보고, 이의 원인으로 CCD 냉각이 균질하지 못하여 서리 같은 것이 서서히 우하부로부터 좌상부 쪽으로 진행해서 생겼다는 시나리오를 제시했다.

ABSTRACT

BV observations for V523 Cas were performed with 1.8m telescope and 2K CCD camera at Bohyunsan Optical Astronomy Observatory, Korea, on October 20, 1999. Δm light curves for 11 comparison objects were made. It was found that their light curve slopes are different each other. Factor analysis for items of slope, (b-v), magnitude, X pixel, and Y pixel results that there is strong correlation between the slope and the location (X,Y). It might be due to problems of CCD cooling system.

Keywords: CCD observation, observing accuracy, CCD camera cooling problem

1. 서 론

CCD 이미지 상의 어느 위치에 측정하려는 별이 오게 하느냐에 따라 측광정밀도가 다르다면 전체의 측광정밀도가 떨어지게 된다. 이런 현상에 대한 경향을 보현산 천문대의 1.8m 망원경을 사용하여 얻은 관측자료를 분석하여 발견하였다.

[†]본 연구는 한국과학재단 지역대학우수연구과제(2001-1-11300-003-2) 지원으로 수행되었음.

[‡]corresponding author

표 1. 측정된 별의 정보.

<i>*id</i>	<i>GSCId</i>	<i>mag</i>	<i>RA</i>	<i>Dec</i>	<i>b-v</i>
1	3257:0747	10.1	0 40 52.9	50 23 15	0.30
2	3257:1326	10.9	0 40 28.1	50 20 47	1.20
3	3257:0772	13.5	0 40 39.3	50 19 48	0.57
4	3257:0994	13.0	0 40 50.6	50 18 56	0.49
5	3257:1068	11.2	0 40 28.1	50 18 18	0.56
6	3257:1160	12.7	0 40 53.4	50 15 57	0.36
7	3257:1336	13.5	0 40 38.3	50 16 25	0.52
8	3257:0221	12.5	0 40 31.9	50 16 23	0.82
9	3257:1577	13.1	0 40 11.1	50 15 44	0.68
10	3257:1506	13.3	0 40 12.4	50 15 21	0.82
11		13.1	0 40 8.7	50 15 32	
12	3257:0167	10.5	0 40 9.9	50 14 42	0.71

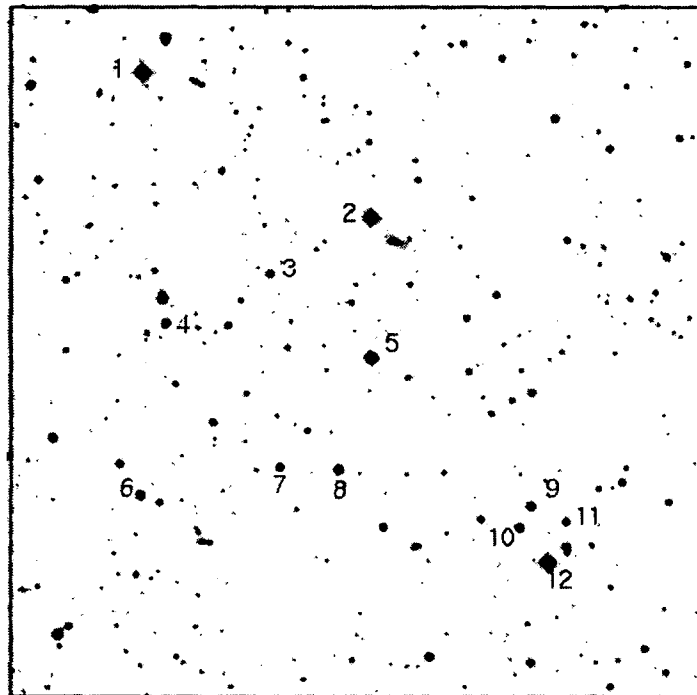


그림 1. Finding chart of V523 Cas and program stars.

우리는 1999년 10월 19-21일 보현산 천문대의 1.8m 망원경과 이에 부착된 2K CCD 카메라를 이용하여, V523 Cas을 측광할 목적으로, 그림 1에서 보인 것과 같은 12' × 12' 시야의 하늘을 촬영한 600여장의 이미지를 처리하여 광도곡선을 구하고 이의 분석결과를 발표한 바 있다(김진희 2000). 이 이미지를 얻기 위하여 노출한 시간은 B-filter에서는 10초, V-filter에서는 5초이었다. bias, flat, dark 보

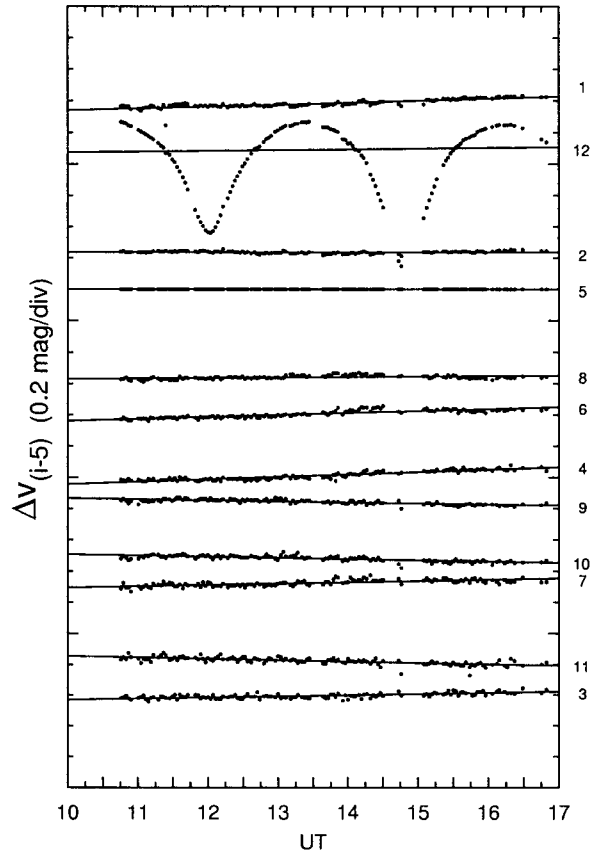


그림 2a. Δv 광도곡선.

정 등의 내용은 김진희(2000) 논문에 상술되어 있다. 이 논문은 측광정밀도의 p.e.를 B와 V 등급에서 각각 0.009와 0.008등급으로 계산하였다. 이는 40-60cm 급 망원경에 부착된 광전측광 장치를 이용한 관측에서 얻었던 0.01등급의 수준이며, 같은 하늘을 미 해군성 천문대의 Flagstaff 관측소의 1.0m 망원경으로 Elias & Koch(2000)이 얻은 0.001등급 정도의 정밀도와 비교할 때, 현재 보현산 천문대의 1.8m 망원경에 부착된 최첨단 CCD 카메라를 이용한 결과로서는 대단히 불만족스러운 것이다. 성환경 등(2001)의 보고에 의하면 2000년 10월 18일과 30일 관측한 정밀도가 표준편차로 0.02등급 정도 된다고 했다.

그림 1은 Digitized Sky Survey(DSS) 이미지에서 얻은 사진 위에, 우리가 다루려고 하는 천체들의 상을 동정하기 위해 일련의 번호를 첨가한 것인데, 이 번호는 표 1의 첫칸에 정리된 번호와 일치하며 각 별의 정보는 표 1의 연속되는 칸에 정리된 내용과 같다.

측광정밀도를 계산하는 방법 중에서 우리가 흔히 사용하는 것이 변광성(*var), 비교성(*comp), 검토성(*ch) 등의 등급을 같은 시각에 측정된 것을 가지고 $\Delta m = m_{ch} - m_{comp}$ 을 구하여 한개의 관측점을 얻고, 이렇게 얻은 여러개의 관측점들을 가지고 계산한 표준편차 및 확률오차(probable error)를 구하는 것이다.

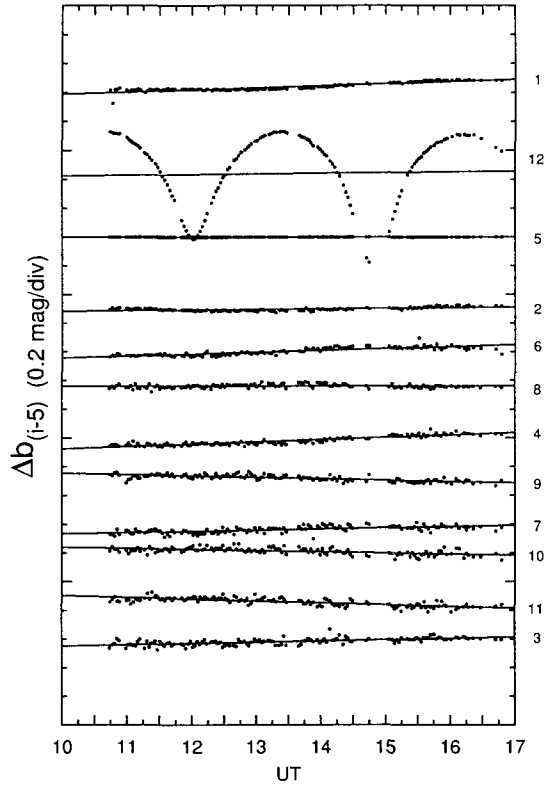


그림 2b. Δb 광도곡선.

우리는 관측한 이미지의 시야에 포함된 12개 별들에 대하여 IRAF의 구경측광 방법으로 등급을 구하였다. 이렇게 얻은 관측자료를 처리하는데 있어서 별빛이 지구대기를 통과하는 동안 잃어버린 양(extinction)을 보정하는 일은 필수적이다. 그 양은 대기를 통과하는 경로의 함수 X (air mass)에 감광계수(extinction coefficient) k 를 곱함으로써 계산할 수 있다. 통상 k 값을 결정하기 위해 $\sec z - mag$ 도 또는 $air\ mass - mag$ 도를 이용한다. 만약 두 별의 X 값이 매 관측 시각마다 같다면 단순히 두 별의 등급차 Δm 만의 계산으로 해결할 수 있다. 이것은 따지고 보면 어느 별이나 모두 같은 k 값을 갖는다는 가정하에 그러하다.

여기서 우리는 1999년 10월 20일에 얻은 11개 각각에 대하여 124개의 B 관측점과 124개의 V 관측점을 분석하므로 관측정밀도를 저하시키는 문제를 밝히고자 한다.

2. 단순 Δm 광도곡선

우리가 관측한 임의의 별을 i 로, 그 등급을 m_i 로 표시하고 $\Delta m_i = m_i - m_5$ 로, 때로는 아직 표준화 되지 않은 BV 등급을 b_i 로, v_i 로 표기하기로 한다. 여기서 각 등급 m_i 값은 flat 보정은 한 것이고 extinction 보정은 하지 않은 것이다. 그림 2a,b는 우리가 얻은 관측점들 중에서 1999년 10월 20일 밤에 얻은 것을 가지고 만든 B와 V 필터별 Δm_i 광도곡선이다.

표 2. 측정정밀도의 비교. 각 칸의 설명은 본문에 있음.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
*id	a_1	a_2	σ_1^s	σ_2^s	σ_1^a	σ_2^a
1	-0.01464	-0.01454	0.01221	0.01221	0.02768	0.02753
2	-0.00416	-0.00417	0.00958	0.00958	0.01190	0.01191
3	-0.00883	-0.00879	0.01816	0.01815	0.02354	0.02349
4	-0.01613	-0.01604	0.01245	0.01246	0.03008	0.02993
5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	-0.01326	-0.01315	0.01465	0.01465	0.02685	0.02669
7	-0.00834	-0.00829	0.01771	0.01771	0.02267	0.02262
8	-0.00037	-0.00035	0.01265	0.01264	0.01266	0.01265
9	0.00955	0.00948	0.01533	0.01533	0.02231	0.02222
10	0.00812	0.00806	0.01962	0.01962	0.02397	0.02391
11	0.01284	0.01276	0.01946	0.01947	0.02921	0.02912
1	-0.01246	-0.01454	0.01433	0.01221	0.02555	0.02753
2	-0.00027	-0.00417	0.00788	0.00958	0.00789	0.01191
3	-0.00779	-0.00879	0.01630	0.01815	0.02100	0.02349
4	-0.01537	-0.01604	0.01022	0.01246	0.02802	0.02993
5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	-0.01284	-0.01315	0.01286	0.01465	0.02532	0.02669
7	-0.00839	-0.00829	0.01406	0.01771	0.02002	0.02262
8	-0.00291	-0.00035	0.01077	0.01264	0.01185	0.01265
9	0.00658	0.00948	0.01568	0.01533	0.01925	0.02222
10	0.00744	0.00806	0.01201	0.01962	0.01743	0.02391
11	0.00860	0.01276	0.01518	0.01947	0.02106	0.02912

그림 2에서 보듯이 각 광도곡선의 기울기가 서로 다르게 나타났다. 우리가 다루고 있는 11개의 천체는 $12' \times 12'$ 의 좁은 시야에 아주 가까이 있기 때문에 extinction을 보정하지 않아도 기울기가 없어야 한다. 일반적인 방법이라면 별마다 각 관측점들의 값을 합하여 평균 값 \bar{m} 을 내고 또 표준편차 σ^a 를

$$\sigma^a = \sqrt{\frac{\sum(m_i - \bar{m})^2}{n}} \tag{1}$$

와 같이 구하여야 한다. 우리가 계산한 값을 표 2의 (6)과 (7)칸에 정리 하였다. 이 값들은 0.02 등급 정도를 나타내고 있다. 반면에 그림 2a,b에 나타난 광도곡선 별로 직선식에 최소자승법으로 fitting 해서 그 직선의 기울기 a 와 절편 b 을 구하고 그 편차로 구한 표준편차 σ^s 를

$$\sigma^s = \sqrt{\frac{\sum(m_i - a \times t_i - b)^2}{n}} \tag{2}$$

와 같은 식으로 구하여, a 값은 표 2의 (2)와 (3)칸에, σ^s 값은 (4)와 (5)칸에 정리하였다. 표 2에서 아래 첨자로 사용하고 있는 1은 extinction을 보정하지 않은 경우이고 2는 보정한 경우를 의미한다. 이 표의 상단 11줄은 B 관측점을 가지고, 하단 11줄은 V 관측점을 가지고 계산한 것이다.

표 2에서 보면, 칸(2)의 값과 (3)의 값, 칸(4)의 값과 (5)의 값, 또 칸(6)의 값과 (7)의 값은 0.0001 단위 이상에서 별 차이가 없고, 칸(4)와 (5)의 값 0.01 등급 정도와 (6)과 (7)의 값 0.02 등급 정도의

표 3. 측정정밀도의 비교.

*id	$a_{0.00}^o$	$a_{0.35}^o$	$a_{0.20}^t$	$a_{0.35}^t$	$a_{0.50}^t$	$a_{1.00}^t$
1	-0.01464	-0.01454	-0.000075	-0.000137	-0.000187	-0.000375
2	-0.00416	-0.00417	0.000000	0.000000	0.000012	0.000000
3	-0.00883	-0.00879	-0.000025	-0.000050	-0.000075	-0.000175
4	-0.01613	-0.01604	-0.000075	-0.000125	-0.000175	-0.000035
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	-0.01326	-0.01315	-0.000087	-0.000137	-0.000200	-0.000400
7	-0.00834	-0.00829	-0.000037	-0.000062	-0.000087	-0.000175
8	-0.00037	-0.00035	-0.000012	-0.000025	-0.000037	-0.000062
9	0.00955	0.00948	0.000050	0.000100	0.000125	0.000262
10	0.00812	0.00806	0.000050	0.000087	0.000125	0.000237
11	0.01284	0.01276	0.000050	0.000100	0.000015	0.000300

비교는 중요한 의미를 가진다. 전자는 extinction 보정의 여하는 문제되지 않으며, 후자는 엄연히 광도곡선의 기울기가 존재하고 있음을 증명하는 것이며, 우리의 측광정밀도가 최소한 0.01 등급은 된다는 의미이기 때문이다.

3. 광도곡선 기울기의 존재

우리는 표 2의 칸(2)와 (3)에 정리한 기울기가 주는 의미를 몇가지로 나누어 검토하였다.

첫째는 extinction 보정의 문제로, 단순 Δm 광도곡선이기 때문에 그럴 수 있다고 취급하기 쉬운 부분이다. 이런 생각을 지워버리기 위해, 11개 천체가 모두 일정한 등급을 가지는(변광성이 아닌) 것으로 가정하고 extinction 계수 k 를 0.35로 놓고, 다만 대기 때문에 광도가 변한다는 가정 하에 이론적인 광도를 계산하고 이를 가지고 Δm 광도곡선을 만들어 그 기울기를 계산 하였다. 그 결과를 표 3에 정리 하였다. 표에서 기울기 a 의 위 첨자의 o 는 관측에 의한 것임을, t 는 이론적 계산에 의한 것임을 나타내며, 아래 첨자 0.00, 0.20, 0.35, 0.50, 1.00은 채택한 extinction 계수 값을 의미 한다.

표 3에서 보듯이 관측으로 나타난 기울기는 0.01 ~ 0.02(mag/hour)인데 반하여 이론적 곡선의 기울기는 0.00001 ~ 0.00008(mag/hour)으로 나타났다. 이것은 $12' \times 12'$ 정도의 좁은 시야에 있는, 그것도 적위 값이 50° 정도일 경우, 7 ~ 8 시간 정도의 관측에서 Δm 을 구할 때 extinction 보정은 할 필요가 없음을 의미한다.

두번째는 색지수에 의존되는 문제일 가능성인데, 그것은 extinction 계수 k 가

$$k = k' + k''(b - v) \quad (3)$$

와 같이 두번째 항이 $(b - v)$ 의 함수이기 때문일 것이다. 실제로 k'' 값은 0.04 정도의 값이기 때문에 전체의 k 값에 큰 영향을 주지 못하며, 영향을 준다하여도 위에서 살펴본 것과 같이 이 경우 k 값이 별 의미가 없으므로, 여기서 취급하고 있는 광도곡선의 기울기는 명백히 색지수의 문제가 아니다.

세번째 검토해 볼 것이 이들이 변광성일 가능성에 대한 것인데, 이들이 변광성이다 아니다 하는 확실한 증거를 가지고 있지 않기 때문에 이 점의 검토는 여기서 줄인다. 그러나 11개 중에 1 ~ 2개 정도는 변광성일 가능성이 있다고 본다 하더라도, 11개 거의 대부분에 나타나고 있는 기울기가 시간

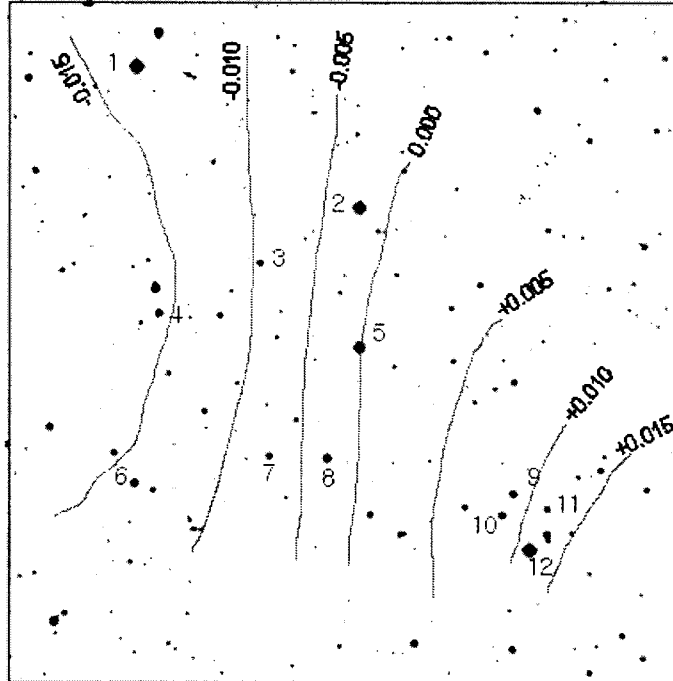


그림 3. 광도곡선 기울기 분포.

당 0.01 등급 정도가 증가하거나 감소하는 상당한 기울기를 가지고 있다는 점이다.

네번째, 우리는 관측장비와 같은 측정체계의 문제일 것이라는 점이다. 물론 bias 보정, flat 보정, dark current의 변화, 그리고 scattered light의 변화 등도 검토의 대상이다.

4. 서리 생성 시나리오

기울기가 각 천체마다 다른 이유를 체계적으로 다루기 위해, [기울기], [(b-v)], [mag], [σ], [X_{pixel}], [Y_{pixel}] 등의 항목을 가지고 항목간 연관성을 계산해 보았더니 [기울기] 항목이 다른 어떤 항목보다 [X_{pixel}]과 [Y_{pixel}]항목이 크게 연관있는 것으로 나타났다. 여기서 [X_{pixel}]과 [Y_{pixel}]은 해당 천체의 이미지가 위치한 CCD 프레임 상의 (X,Y) 좌표에 해당한다.

우리는 [X_{pixel}], [Y_{pixel}]과 [기울기] 값을 가지고 그림 3과 같은 contour map을 만들어 보았다. 이 그림은, 시간의 흐름에 따라 CCD의 측광 감도가 저하되었고, 그 저하 속도가 CCD의 좌상부에서 우하부 쪽으로 갈수록 심하게 되었음을 말해주고 있다. 이런 현상이 일어날 수 있는 많은 시나리오가 검토되었으나, 현재로서는 균질하지 않은 CCD 냉각으로 표면에 생성되는 서리가 우하부에서 시작하여 좌상부 쪽으로 점점 진하게 되었을 것이라는 시나리오가 가장 유력하다. 이의 근본적인 해결과 관측 정밀도의 향상을 위해 CCD칩 각 픽셀의 bias값이나 감도가 시간에 따라 또 그 픽셀의 위치에 따라 변하는지 알아보는 실험을 포함하여 보다 구체적이고 반복적인 실험으로 검증되어야 할 것이다.

만약 이 문제가 해결되면, 관측정밀도를 나타내는 평균에 대한 표준편차가 지금의 0.02등급에서 0.01등급으로 2배 좋아질 것이며, 또한 건조한 날이라면 0.005 등급까지 가능할 것으로 사료된다. 그러나 0.005등급의 정밀도가 된다 하더라도 이는 우리가 사용한 망원경의 구경이 1.8m라는 점과 Lister et al.(2000)가 V523 Cas를 0.004등급의 정밀도로 관측하는데 사용한 James Gregory Telescope의 구경이 0.9m라는 점을 비교해 볼 때, 또 Elias & Koch(2000)의 경우와 비교해 볼 때 우리는 이를 개선하려는 연구와 노력이 절대적으로 필요한 것이다.

참고 문헌

- 김진희 2001, 석사학위논문, 충북대학교 대학원
성환경, 천무영, 박병근, 전영범, 장정균, 노진형, 성현철 2001, 보현산천문대 SITe 2K CCD의 측광 정밀도 (대전: 한국천문연구원)
Elias, N. M., & Koch, R. H. 2000, AJ, 120, 1548
Lister, T. A., McDermid, R. M., & Hilditch, R. W. 2000. MNRAS. 317. 111