

## 소백산 천문대 CCD 측광계의 *BVRI* 표준화<sup>†</sup>

정장해<sup>‡</sup>, 김천휘, 이용삼  
충북대학교 천문우주학과

## *BVRI* Standardization of the CCD Photometric System of Sobaeksan Optical Astronomy Observatory<sup>†</sup>

Jang Hae Jeong<sup>‡</sup>, Chun-Hwey Kim, and Yong-Sam Lee  
Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University  
E-mail: jeongjh@chungbuk.ac.kr

(Received May 10, 2008; Accepted May 20, 2008)

### 요 약

소백산 천문대의 61cm 망원경에 부착된 *bvri* CCD 측광 시스템으로 근접쌍성 V523 Cas를 2003년 1월에 4일 밤을 관측하여 792점의 CCD 영상을 얻었다. 이 영상 내에 있는 17개의 *BVRI* 표준성을 이용하여 소백산 천문대의 *bvri* 측광계와 Johnson-Cousins의 *BVRI* 측광계 사이의 변환 관계를

$$\begin{aligned} V &= v - 0.0689(B - V) + 0.0063 \\ B - V &= 1.3197(b - v) - 0.1733 \\ V - R &= 0.9210(v - r) - 0.1309 \\ R - I &= 0.8892(r - i) - 0.1055 \end{aligned}$$

와 같이 구하였다. 이 식을 이용하여 근접쌍성 V523 Cas 근처에 있는 57개 별들의 표준 *V* 등급과 색지수(*B-V*, *V-R*, *R-I*)를 결정하였다.

### Abstract

A total of 792 CCD images of V523 Cas were obtained on four nights of Jan. 2003 with the *bvri* CCD photometric system attached to a 61cm reflector of Sobaeksan Optical Astronomy Observatory (SOAO). The 17 standard stars in the images were used to establish transformation relations between our *bvri* system and the standard Johnson-Cousins *BVRI* system. We derived the tentative equations of transformation between two photometric systems as follows;

$$\begin{aligned} V &= v - 0.0689(B - V) + 0.0063 \\ B - V &= 1.3197(b - v) - 0.1733 \\ V - R &= 0.9210(v - r) - 0.1309 \\ R - I &= 0.8892(r - i) - 0.1055. \end{aligned}$$

<sup>†</sup>이 연구는 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

<sup>‡</sup>corresponding author

Using these equations standard  $V$  magnitudes and their color indexes ( $B-V$ ,  $V-R$ ,  $R-I$ ) for 57 stars in the field of the image were determined.

*Keywords:* CCD observations,  $BVRI$  standardization

## 1. 서 론

천체측광에 있어서 측광계의 표준화 작업은 서로 다른 관측자가 각기 다른 관측기기(망원경과 검출기 등)로 관측한 동일한 천체의 측광자료를 상호 비교하거나 결합할 때, 또는 표준 등급이 아직 정해지지 않은 별들의 등급을 새로이 정할 때 매우 중요하다. 그러므로 세계 우수 천문대는 사용하고 있는 측광기로 관측된 천체의 광도를 표준계로 바꾸는 척도 조종의 과정인 표준화 과정을 수행한다. 그러나 표준화 작업은 온도가 각기 다른 표준성을 시즌별로 여러 차례 관측하여야 하므로 많은 시간과 노력이 드는 작업이다.

이런 이유 또는 이에 준하는 이유 때문에 소백산 천문대(이하 SOAO라 약함)의 광대역  $UBVRI$  CCD 측광계가 2001년에 설치되어 사용되고 있음에도 불구하고 천문대 차원에서 Johnson-Cousins  $UBVRI$  측광계(Johnson & Morgan 1953, Johnson & Harris 1954, Johnson 1955, Cousins 1976, 1980)와의 상호 관계를 정하는 일련의 표준화 작업이 아직도 이루어지지 않고 있는 실정이다. 여러 관측자가 다른 목적으로 사용하는 소백산천문대의 망원경인 점을 고려하면, 소백산 천문대의 표준화를 목적으로 망원경 사용시간의 많은 할당을 요구할 수 없는 상황이며, 할당 받은 날자들을 표준화 관측하는데 사용한다 하더라도 날씨 사정때문에 그 기간동안 표준화 작업을 마친다는 보장이 없기 때문에, 국내의 근접쌍성을 연구하는 관측자들은 통상 표준성을 관측하지 않고 그들의 프로그램 별만을 관측하는 실정이다. 따라서 그렇게 관측한 측광 자료는 임의의 척도로 표현되는 기계등급이어서 상호 다른 측광계로 관측한 자료와 일반적으로 비교할 수가 없다.

소백산 천문대의 2K CCD 카메라는 시야가  $20' \times 20'$ 이어서 프로그램 별이 적당히 어두우면 그 시야 내에 많은 별들이 들어오고, 더불어 이 별들의 표준등급이 알려져 있다면, SOAO의 측광시스템의 표준화 작업을 수행할 수 있다는 생각을 하였다. 다행히, 2003년 1월에 4일간 관측한 근접쌍성 V523 Cas의 경우, 수많은 CCD 영상 내에 상당히 많은 별들이 있었고, 문헌을 조사한 결과 Elias & Koch(2000)은 V523 Cas 근처에 있는 17개 별의  $UBVRI$  표준 등급을 발표한 바 있다. 이 논문은 우리의 관측자료(정장해 등 2003)와 Elias & Koch(2000)이 제시한 17개의 표준등급 자료를 이용하여 소백산 천문대의  $BVRI$  측광계의 표준화 작업을 시도하였다.

## 2. 관측 자료의 처리

2003년 1월 6, 7, 8, 21일(4일 밤)에 SOAO의 61cm 망원경과 그에 부착된 2K CCD와  $BVRI$  필터 시스템을 이용하여 W UMa형 접촉쌍성 V523 Cas 주변의  $20' \times 20'$  시야를 관측하여 6일에 193점, 7일에 243점, 8일에 240점, 21일에 116점의 CCD 영상들을 얻은 바 있다(정장해 등 2003). 사용한 기기(망원경, 2K CCD와  $BVRI$  필터)의 특성 및 관측 프로그램에 관한 정보는 김승리 등(2001)의 논문에 자세히 설명되어 있다.

그림 1은 정장해 등(2003)이 얻은 영상들의 한 예로서 별의 오른쪽 옆에 표기된 숫자는 IRAF DAOFIND에서 별로 동정된 번호이다. 중앙에 있는 33번 별이 V523 Cas이다. 그림 1에 보인 별들

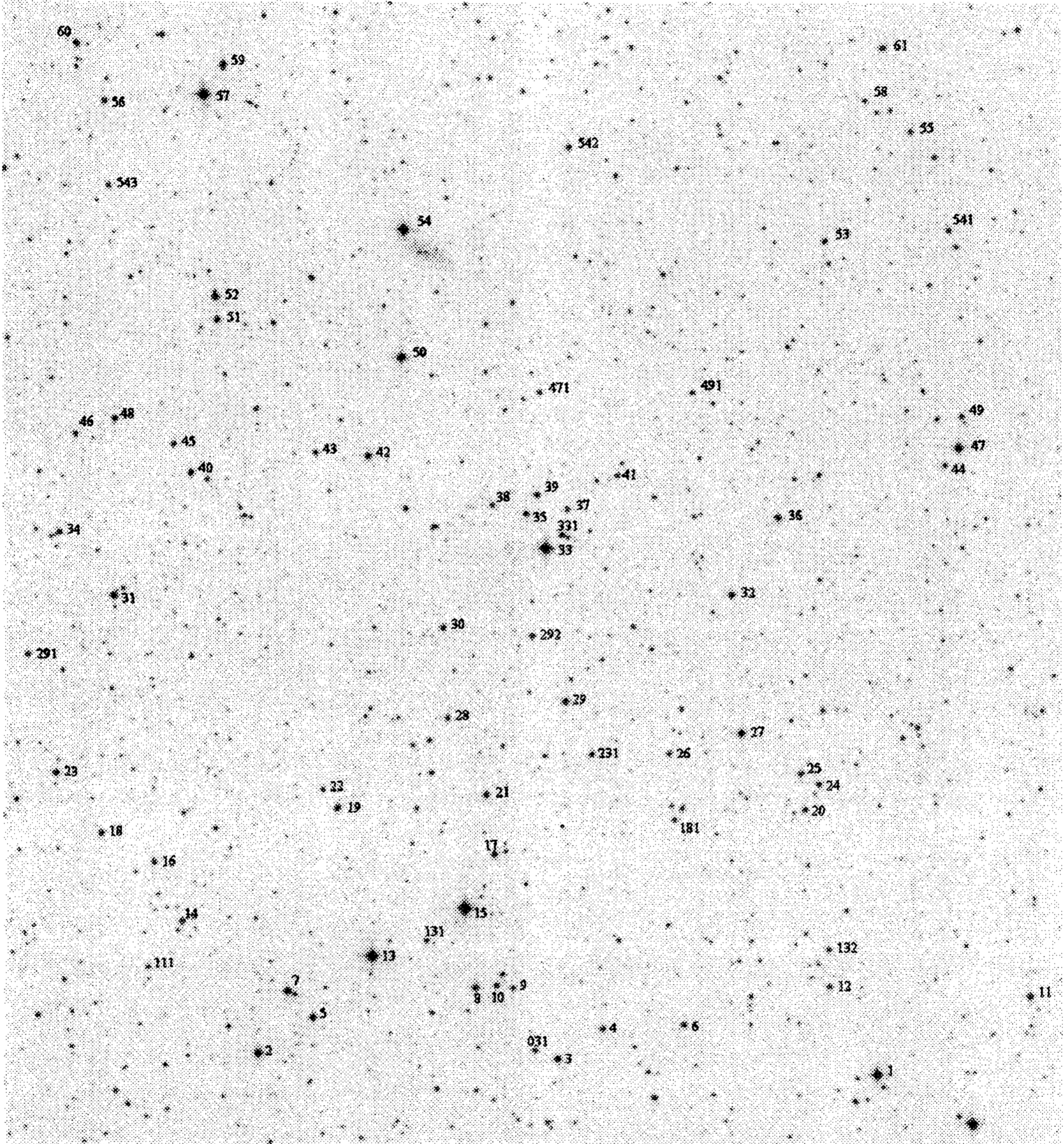


그림 1. V523 Cas 주변의 성도(시야 약 20' × 20'). 중심에 V523 Cas(번호: 33)가 있고, 밝기가 측정된 별에 각각의 번호가 부여되었다.

중에서 비교적 밝은 74개의 별을 선택하여 표 1에 수록하였다. 표 1의 첫번째 줄( $M^1$ 에 해당)은 그림 1의 동정 번호를 나타낸다. 이와 더불어 선택한 각 별의 GSC(Guide Star Catalog), 성표의 번호, 그리고 좌표(J2000),  $V$ 를 Guide 8.0 S/W로 동정하여 표 1의 둘째줄( $GS^2$ 에 해당)과 네째줄, 다섯째, 여섯째 열에 각각 수록하였다. 이와 더불어 Elias & Kock(2000)의 finding map에 나타난 번호를 표 1의 둘째줄( $K^3$ 에 해당)에 표기하였다.

우리가 얻은 모든 CCD 영상들은 IRAF 패키지를 이용하여 처리하여, 비교성(comparison star,

표 1. 관측성들의 정보.

$M^1$	$K^3$	$GS^2$	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	$m$	$M^1$	$K^3$	$GS^2$	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	$m$
1		0728	00 39 24.63	50 04 13.7	11.01	31		1573	00 40 06.12	50 04 32.2	13.72
2		1458	00 40 39.58	50 04 19.9	11.62	32	18	1354	00 39 43.36	50 13 27.1	12.85
3		0847	00 40 03.33	50 04 23.4	12.61	33		0167	00 40 06.02	50 14 17.3	10.50
4		1588	00 39 58.05	50 04 59.1	13.25	331		0248	00 40 03.88	50 14 31.9	13.02
5		1180	00 40 33.19	50 05 03.8	12.79	34		0791	00 41 05.33	50 14 17.8	13.42
6		1310	00 39 48.18	50 05 05.9	13.15	35	6	1506	00 40 08.55	50 14 55.7	13.27
7		0586	00 40 36.21	50 05 32.5	11.71	36		0374	00 39 38.03	50 14 57.7	12.93
8		1671	00 40 13.48	50 05 43.7	12.58	37	8		00 40 03.57	50 15 01.9	14.02
9		1480	00 40 08.94	50 05 43.5	13.47	38	5		00 40 12.70	50 15 15.0	14.57
10		0580	00 40 10.98	50 05 46.2	13.24	39	7	1577	00 40 07.28	50 15 18.4	13.11
11		1094	00 39 06.31	50 05 48.0	12.55	40		1160	00 40 49.46	50 15 32.0	12.72
111			00 40 53.10	50 05 55.2	14.54	41	9		00 39 57.57	50 15 42.2	14.26
12		0988	00 39 30.54	50 05 54.3	13.45	42	13	0221	00 40 28.03	50 15 57.5	12.50
13		0014	00 40 26.16	50 06 16.3	9.82	43	14	1336	00 40 34.41	50 16 00.2	13.51
131			00 40 19.56	50 06 35.8	14.40	44		0480	00 34 34.95	48 45 57.2	13.69
132			00 39 30.77	50 06 36.9	13.93	45		0500	00 40 51.70	50 16 04.4	13.63
14		1930	00 40 49.20	50 06 50.0	13.39	46		0618	00 41 03.65	50 16 13.6	13.55
15		1262	00 40 15.03	50 07 15.2	9.72	47		0884	00 39 16.30	50 16 23.5	11.60
16		0831	00 40 52.82	50 07 58.2	13.51	471		0398	00 40 07.20	50 17 15.9	13.93
17		2107	00 40 11.59	50 08 18.7	13.04	48		0530	00 40 58.83	50 16 32.1	13.11
18		0005	00 40 59.19	50 08 29.5	13.13	49		0746	00 39 15.93	50 17 00.1	13.44
181		0850	00 39 49.74	50 09 04.1	13.86	491	17		00 39 48.61	50 17 20.6	14.61
19	15	1156	00 40 30.76	50 09 07.9	12.72	50	3	1068	00 40 24.31	50 17 53.4	11.16
20		1154	00 39 34.01	50 09 18.6	13.42	51		0994	00 40 46.69	50 18 30.9	13.01
21	2	1363	00 40 12.74	50 09 28.3	12.97	52		0986	00 40 47.02	50 18 57.7	11.97
22	16	0173	00 40 32.61	50 09 27.1	14.04	53		1984	00 39 33.00	50 20 19.8	13.67
23		0823	00 41 04.99	50 09 37.2	13.11	54		1326	00 40 24.32	50 20 21.0	10.90
231		0864	00 40 00.00	50 10 17.6	13.55	541		1774	00 39 18.01	50 20 34.5	13.50
24		0047	00 39 32.41	50 09 49.0	13.05	542		0889	00 40 04.41	50 22 01.3	13.58
25		1401	00 42 26.92	49 41 54.5	12.56	543		0950	00 41 00.31	50 21 01.2	13.83
26	12	0841	00 39 50.55	50 10 21.7	13.37	55		1305	00 39 22.91	50 22 28.3	13.62
27	1	0774	00 33 46.38	49 29 14.5	13.41	56		0757	00 41 01.05	50 22 38.9	12.99
28	10	1168	00 40 17.59	50 10 55.8	13.51	57		0747	00 40 49.03	50 22 50.0	10.11
29	11	0011	00 40 03.34	50 11 19.1	12.58	58		1225	00 39 28.40	50 23 01.8	13.97
291		0923	00 41 08.68	50 11 54.2	13.36	59		0949	00 40 46.66	50 23 25.3	12.17
292		0883	00 40 07.53	50 12 34.0	13.40	60		1101	00 41 04.65	50 23 43.9	12.65
30	4	0113	00 40 18.42	50 12 40.9	13.02	61		0759	00 39 26.40	50 24 03.7	13.12

$M^1$ : 그림 1에서의 번호,  $K^3$ : Elias & Koch(2000)의 번호,  $GS^2$ : GSC 03257-하위자리 번호.

c로 표시)에 대한 각 별의 등급차를 산출 하였다. 여기서  $BVRI$ 를 표준계 등급으로,  $bvri$ 를 소백산 측광계 등급으로 표시하기로 하자. 각 영상에서  $i$ 번째 별의 등급을  $m_i$ 로 표시한다면, 소백산 측광계로 관측된 기계등급을  $b_i, v_i, r_i, i_i$ 로 표시할 수 있다. 따라서, 등급차  $\Delta m_i = m_i - m_c$ 를 필터 별로 표시하면

$$\Delta b_i = b_i - b_c, \quad \Delta v_i = v_i - v_c, \quad \Delta r_i = r_i - r_c, \quad \Delta i_i = i_i - i_c \quad (1)$$

와 같다. 여기서  $b_c, v_c, r_c, i_c$ 는 비교성의 기계등급이다. 식 (1)에서  $\Delta m_i$ 에 해당하는 개개의 측정값  $\Delta b_i, \Delta v_i, \Delta r_i, \Delta i_i$ 을 여러번 관측하여 얻은 평균 값을 각각  $\Delta b, \Delta v, \Delta r, \Delta i$ 라 하고, 문헌에서 얻은 비교성의  $BVRI$  등급을 각각  $B_c, V_c, R_c, I_c$ 라 하면 최종적으로

$$b = \Delta b + B_c, \quad v = \Delta v + V_c, \quad r = \Delta r + R_c, \quad i = \Delta i + I_c \quad (2)$$

을 얻는다.

시야의 중앙 부분에 있고  $B - V$  값이 0.0에 가까우며, Elias & Koch(2000)의 목록에 있는 26, 28, 29, 39, 41번성들의  $V, B - V$ , 위치 등을 비교 검토한 결과 측정정밀도를 고려하여 이들 중에서  $V$  등급이 가장 밝은 29번성을 비교성으로 정하였다. 표 1에 수록한 별들의 필터별 평균등급, 측정 확을

오차를 관측한 날마다 계산하여 표 2에 정리하였다. 이 표에서 첫번째와 두번째 줄은 각각 관측일과 별의  $M^1$  번호를 나타내며, 각 날의 필터별 평균값  $\Delta b, \Delta v, \Delta r, \Delta i$ 를 각각 3, 6, 9, 12번째 줄에, 각각의 확률오차  $p.e.$ 는 4, 7, 10, 13번째 줄에, 또 5, 8, 11, 14번째 줄에는 평균하는데 사용된 관측점의 수가 수록되었다.

### 3. 변환식의 상수 결정

각 관측성의 등급차  $\Delta m_i$ 의 그날 평균 값  $\Delta b, \Delta v, \Delta r, \Delta i$ 로 부터 SOAO측광계  $v, b-v, v-r, r-i$ 는

$$v = \Delta v + V_c \quad (3)$$

$$b - v = (\Delta b + B_c) - (\Delta v + V_c) = (\Delta b - \Delta v) + (B - V)_c \quad (4)$$

$$v - r = (\Delta v + V_c) - (\Delta r + R_c) = (\Delta v - \Delta r) + (V - R)_c \quad (5)$$

$$r - i = (\Delta r + R_c) - (\Delta i + I_c) = (\Delta r - \Delta i) + (R - I)_c \quad (6)$$

와 같은 관계로 부터 얻을 수 있다. 여기서  $BVRI$ 는 Johnson-Cousins의 표준등급 이다. 또한, SOAO의 기계등급  $bvri$ 를 표준등급  $BVRI$ 와는

$$V = v + \beta(B - V) + \zeta_v \quad (7)$$

$$B - V = \epsilon(b - v) + \zeta_{bv} \quad (8)$$

$$V - R = \mu(v - r) + \zeta_{vr} \quad (9)$$

$$R - I = \phi(r - i) + \zeta_{ri} \quad (10)$$

인 관계가 있다. 이 식들에 식 (3)~(6)을 대입하여 정리하면

$$V - \Delta v = \beta(B - V) + \zeta_v + V_c \quad (11)$$

$$\Delta b - \Delta v = \frac{1}{\epsilon}(B - V) - \frac{1}{\epsilon}[\zeta_{bv} + (B - V)_c] \quad (12)$$

$$\Delta v - \Delta r = \frac{1}{\mu}(V - R) + \frac{1}{\mu}[\zeta_{vr} + (V - R)_c] \quad (13)$$

$$\Delta r - \Delta i = \frac{1}{\phi}(R - I) + \frac{1}{\phi}[\zeta_{ri} + (R - I)_c] \quad (14)$$

와 같은 관계식을 얻는다. 여기서 비교성으로 사용한 GSC 03257-00011( $M^1 29, K^3 11$ )의 등급은

$$V_c = 12.^m 58, (B - V)_c = 0.^m 086, (V - R)_c = 0.^m 069, (R - I)_c = 0.^m 048 \quad (15)$$

와 같다(Elias & Koch 2000). 표 2에 정리된 관측성 중에서 Elias & Koch(2000)도 측광해서 발표한 별( $K^3 2 \sim K^3 18$ )들만 골라, 각 별에 대해 관측일 별로  $\Delta v, \Delta b - \Delta v, \Delta v - \Delta r, \Delta r - \Delta i$ 의 값들을 계산하여 표 3의 7 ~ 10번째 줄에 각각 정리하였다. 또한, Elias & Koch(2000)의 표에서 얻은 값을 가지고  $V, B - V, V - R, R - I$  값을 계산하여 표 3의 3 ~ 6번째 줄에 각각 정리하였다. 특히 표 3의  $V$  값은

$$V_i = V_i(EK) + \Delta V_{11}, \quad \Delta V_{11} = V_{11}(GSC) - V_{11}(EK) \quad (16)$$

표 2. 관측성의 필터별 하루 평균 기계등급과 그 확률오차.

$D^2$	$M^1$	$K^3$	$\Delta b$	p.e.	n	$\Delta v$	p.e.	n	$\Delta r$	p.e.	n	$\Delta i$	p.e.	n
6	1		-0.869	0.017	47	-1.440	0.011	46	-1.853	0.012	46			
6	2		-1.179	0.013	48	-1.083	0.014	49	-1.005	0.013	48	-0.947	0.017	48
6	3		0.426	0.012	48				-0.227	0.011	48	-0.478	0.034	48
6	6		0.606	0.010	48	0.566	0.014	49	0.548	0.011	48	0.517	0.016	48
6	5		-0.046	0.013	48	-0.032	0.015	49	-0.016	0.012	48	0.000	0.015	48
6	7		-0.297	0.017	48	-0.636	0.040	49	-0.862	0.012	48	-1.042	0.024	48
6	8		-0.044	0.010	48	-0.093	0.015	49	-0.118	0.011	48	-0.137	0.017	48
6	11		-0.230	0.012	48	-0.193	0.013	49	-0.154	0.012	48	-0.148	0.014	48
6	17		0.504	0.009	48	0.468	0.013	49	0.451	0.009	48	0.426	0.018	48
6	19	15	0.650	0.015	48				-0.035	0.009	48	-0.289	0.032	48
6	21	2	0.193	0.008	48	0.202	0.009	49	0.219	0.010	48	0.232	0.013	48
6	23		0.324	0.013	48	0.438	0.017	49	0.534	0.016	48	0.610	0.022	48
6	24		0.667	0.010	48	0.832	0.017	49	0.993	0.013	48	1.114	0.026	48
6	26	12	0.900	0.012	48	0.889	0.009	49	0.886	0.013	48	0.881	0.020	48
6	27	1	-0.699	0.007	48	-0.629	0.007	49	-0.562	0.006	48	-0.504	0.011	48
6	30	4	0.311	0.009	48	0.430	0.011	49	0.531	0.011	48	0.654	0.026	48
6	31		-0.361	0.011	48	-0.382	0.015	49	-0.389	0.013	48	-0.401	0.018	48
6	32	18	0.805	0.013	48	0.420	0.038	49	0.131	0.009	48	-0.139	0.028	48
6	39	7	0.765	0.011	48	0.477	0.027	49	0.263	0.007	48	0.078	0.016	48
6	40		0.266	0.011	48	0.250	0.012	49	0.240	0.011	48	0.228	0.013	48
6	42	13	0.381	0.011	48				-0.325	0.007	48	-0.540	0.021	48
6	47		-0.283	0.011	48				-1.224	0.007	48	-1.578	0.038	48
6	48		0.636	0.014	48	0.562	0.019	49	0.531	0.016	48	0.503	0.020	48
6	50	3	-1.119	0.007	48	-1.307	0.021	49	-1.426	0.007	48	-1.468	0.011	48
6	51		0.496	0.013	48	0.385	0.020	49	0.323	0.012	48	0.286	0.016	48
6	52		-0.593	0.010	48	-0.584	0.011	49	-0.567	0.009	48	-0.546	0.011	48
6	54		-0.716	0.016	48				-2.042	0.011	48			
6	56		0.057	0.020	48	0.211	0.020	49	0.352	0.020	48	0.452	0.028	48
6	57		-2.618	0.018	48	-2.599	0.022	49	-2.544	0.020	48	-2.459	0.017	48
6	59		0.315	0.020	48				-0.508	0.016	48	-0.825	0.036	48
6	60		-0.018	0.020	48	0.009	0.022	49	0.048	0.020	48	0.074	0.021	48
7	1		-0.884	0.006	61	-1.455	0.010	61	-1.876	0.010	61	-2.260	0.013	60
7	3		0.410	0.008	60	0.031	0.011	59	-0.242	0.011	61	-0.505	0.012	60
7	4		0.769	0.011	59	0.746	0.014	59	0.726	0.016	55	0.676	0.018	60
7	5		-0.049	0.008	61	-0.026	0.011	59	-0.012	0.013	60	-0.014	0.016	60
7	6		0.603	0.010	60	0.567	0.012	58	0.545	0.013	61	0.515	0.017	60
7	7		-0.298	0.006	61	-0.637	0.010	61	-0.859	0.009	61	-1.047	0.011	60
7	8		-0.048	0.006	61	-0.090	0.008	61	-0.111	0.011	60	-0.147	0.011	60
7	9		0.945	0.009	59	0.904	0.017	58	0.892	0.016	55	0.870	0.020	60
7	11		-0.242	0.007	61	-0.194	0.009	61	-0.159	0.011	61	-0.159	0.013	60
7	111		1.868	0.030	51	1.805	0.024	47	1.752	0.026	40			
7	13					-3.004	0.011	12	-2.737	0.011	45	-2.495	0.013	60
7	16		0.723	0.011	60	0.751	0.015	55	0.760	0.034	57			
7	17		0.493	0.008	61	0.474	0.011	59	0.456	0.013	56	0.421	0.015	60
7	19	15	0.666	0.009	60	0.260	0.009	61	-0.015	0.011	61	-0.289	0.013	60
7	21	2	0.195	0.007	59	0.208	0.009	61	0.227	0.011	59	0.228	0.015	60
7	23		0.318	0.011	45	0.440	0.010	44	0.543	0.015	41	0.590	0.017	45
7	24		0.673	0.008	61	0.848	0.016	58	0.999	0.016	56	1.111	0.031	60
7	26	12	0.901	0.008	61	0.887	0.015	60	0.891	0.015	54	0.868	0.021	60
7	27	1	-0.696	0.005	61	-0.619	0.006	60	-0.557	0.009	61	-0.504	0.010	60
7	30	4	0.321	0.007	61	0.442	0.008	61	0.533	0.013	56	0.651	0.015	60
7	31		-0.359	0.007	61	-0.375	0.010	61	-0.379	0.011	59	-0.402	0.015	60
7	39	7	0.775	0.011	61	0.487	0.009	61	0.266	0.014	61	0.086	0.013	60

$D^2$ 는 관측일(2003/1/6-21),  $M^1$ 은 그림 1에 표기된 번호, p.e.는 확률오차, n은 관측점의 수.

표 2. (계 속)

$D^2$	$M^1$	$K^3$	$\Delta b$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>	$\Delta v$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>	$\Delta r$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>	$\Delta i$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>
7	40		0.269	0.007	60	0.250	0.011	61	0.243	0.011	57	0.223	0.011	60
7	42	13	0.394	0.007	61	-0.037	0.007	61	-0.316	0.010	61	-0.545	0.011	60
7	46		0.906	0.011	57	1.003	0.017	55	1.080	0.020	56	1.121	0.024	60
7	47		-0.280	0.007	61	-0.833	0.007	61	-1.223	0.009	61	-1.592	0.010	60
7	48		0.637	0.009	61	0.566	0.013	60	0.537	0.013	58	0.501	0.017	60
7	50	3	-1.125	0.005	61	-1.310	0.007	61	-1.428	0.008	61	-1.481	0.011	60
7	51		0.491	0.008	61	0.389	0.011	61	0.325	0.013	61	0.280	0.014	60
7	52		-0.593	0.007	61	-0.575	0.011	61	-0.560	0.011	61	-0.549	0.013	60
7	54		-0.716	0.009	61	-1.477	0.008	61	-2.045	0.009	61	-2.571	0.017	60
7	543		2.102	0.022	55	1.533	0.025	54	1.119	0.018	53	0.729	0.020	60
7	56		0.061	0.014	61	0.224	0.015	60	0.359	0.016	60	0.443	0.020	60
7	57		-2.604	0.025	60	-2.582	0.023	61	-2.547	0.015	61	-2.476	0.016	60
7	59		0.325	0.009	61	-0.083	0.013	61	-0.488	0.013	61	-0.827	0.014	60
7	60		-0.042	0.011	17	-0.006	0.012	19	0.041	0.015	20	0.048	0.024	17
8	2		-1.159	0.009	60	-1.058	0.011	60	-0.987	0.011	60	-0.941	0.013	60
8	3		0.438	0.009	60	0.059	0.009	60	-0.207	0.011	60	-0.476	0.013	60
8	4		0.802	0.015	60	0.758	0.012	60	0.736	0.018	57	0.699	0.019	60
8	5		-0.029	0.009	60	-0.016	0.010	60	-0.002	0.010	60	0.008	0.017	60
8	6		0.616	0.011	60	0.571	0.011	60	0.549	0.014	58	0.513	0.018	60
8	7		-0.279	0.007	60	-0.622	0.010	60	-0.846	0.009	60	-1.032	0.011	60
8	8		-0.037	0.007	60	-0.086	0.008	60	-0.113	0.011	60	-0.139	0.013	60
8	9		0.952	0.011	60	0.913	0.014	59	0.882	0.019	60	0.871	0.019	60
8	10		0.906	0.013	60	0.731	0.012	60	0.617	0.015	60	0.517	0.017	60
8	11		-0.211	0.010	60	-0.176	0.011	60	-0.143	0.011	60	-0.139	0.015	60
8	12		1.243	0.015	60	1.029	0.016	59	0.872	0.016	57	0.722	0.016	60
8	13		-3.314	0.011	8	-3.004	0.010	47	-2.716	0.010	60	-2.476	0.012	60
8	14		1.518	0.020	60	0.863	0.014	60	0.377	0.014	60	-0.070	0.017	60
8	15					-3.159	0.010	22	-2.869	0.009	59	-2.628	0.011	60
8	16		0.748	0.011	60	0.765	0.014	60	0.779	0.018	59	0.790	0.026	60
8	17		0.516	0.008	60	0.483	0.009	60	0.467	0.013	60	0.434	0.014	60
8	18		1.006	0.013	60	0.633	0.014	60	0.367	0.013	59	0.114	0.020	60
8	19	15	0.654	0.011	60	0.237	0.009	60	-0.032	0.011	60	-0.297	0.013	60
8	20		1.119	0.011	60	0.980	0.015	60	0.881	0.020	57	0.762	0.018	60
8	21	2	0.194	0.007	60	0.205	0.009	60	0.221	0.010	60	0.227	0.015	60
8	22	16	1.471	0.016	60	1.452	0.020	60	1.447	0.032	52	1.452	0.035	60
8	23		0.349	0.012	60	0.465	0.012	60	0.553	0.013	58	0.610	0.020	60
8	24		0.666	0.009	60	0.841	0.012	60	0.993	0.017	56	1.109	0.027	60
8	25		1.068	0.011	60	0.998	0.013	59	0.958	0.018	60	0.908	0.020	60
8	26	12	0.897	0.011	60	0.892	0.014	60	0.892	0.018	55	0.878	0.020	59
8	27	1	-0.705	0.005	60	-0.631	0.007	60	-0.563	0.008	60	-0.511	0.010	60
8	28	10	0.872	0.009	60	0.923	0.019	60	0.969	0.019	59	1.011	0.022	60
8	30	4	0.311	0.007	60	0.429	0.009	60	0.527	0.011	60	0.643	0.016	60
8	31		-0.347	0.007	60	-0.367	0.009	60	-0.373	0.011	60	-0.394	0.013	60
8	32	18	0.805	0.009	60	0.414	0.010	60	0.127	0.013	60	-0.150	0.012	60
8	34		1.108	0.012	60	0.937	0.016	60	0.816	0.019	57	0.715	0.017	59
8	35	6	1.045	0.009	60	0.618	0.009	60	0.316	0.012	60	0.100	0.013	60
8	36		0.939	0.010	60	0.464	0.009	60	0.146	0.011	60	-0.143	0.011	60
8	37	8	1.217	0.012	60	1.253	0.017	60	1.283	0.022	58	1.354	0.024	59
8	38	5	1.774	0.014	60	1.709	0.024	60	1.655	0.028	60	1.654	0.038	60
8	39	7	0.763	0.009	60	0.468	0.009	60	0.251	0.011	60	0.065	0.013	60
8	40		0.279	0.008	60	0.257	0.010	60	0.248	0.013	60	0.232	0.016	60
8	41	9	1.090	0.010	60	1.112	0.012	60	1.128	0.018	59	1.189	0.023	60
8	42	13	0.387	0.010	60	-0.049	0.007	60	-0.328	0.009	60	-0.554	0.010	60

표 2. (계 속)

$D^2$	$M^1$	$K^3$	$\Delta b$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>	$\Delta v$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>	$\Delta r$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>	$\Delta i$	<i>p.e.</i>	<i>n</i>
8	43	14	1.121	0.011	60	0.972	0.014	60	0.860	0.020	59	0.791	0.018	60
8	44		1.122	0.012	60	1.093	0.011	60	1.081	0.021	60	1.055	0.023	60
8	45		1.147	0.011	60	1.078	0.017	59	1.035	0.017	58	0.979	0.024	60
8	46		0.924	0.013	60	1.012	0.015	60	1.086	0.018	60	1.120	0.025	60
8	47		-0.283	0.008	60	-0.834	0.006	60	-1.223	0.009	60	-1.594	0.011	60
8	48		0.649	0.010	60	0.573	0.010	60	0.539	0.016	60	0.510	0.018	60
8	49		1.059	0.013	59	1.005	0.015	60	0.983	0.019	59	0.970	0.019	59
8	50	3	-1.120	0.006	60	-1.307	0.007	60	-1.427	0.007	60	-1.480	0.009	60
8	51		0.503	0.009	60	0.392	0.009	60	0.327	0.011	60	0.286	0.016	60
8	52		-0.581	0.007	60	-0.570	0.009	60	-0.553	0.009	60	-0.542	0.013	60
8	53		1.107	0.013	60	1.067	0.013	60	1.038	0.030	60	1.015	0.022	60
8	54		-0.712	0.009	60	-1.471	0.007	60	-2.035	0.008	60	-2.566	0.011	60
8	55		1.140	0.013	60	1.115	0.017	60	1.100	0.019	59	1.089	0.024	60
8	56		0.090	0.011	60	0.246	0.016	60	0.379	0.016	60	0.470	0.020	60
8	57		-2.595	0.012	60	-2.565	0.013	60	-2.515	0.012	60	-2.447	0.016	60
8	58		1.265	0.013	60	1.418	0.017	59	1.560	0.030	57	1.702	0.040	60
8	59		0.353	0.009	60	-0.065	0.011	60	-0.479	0.011	60	-0.807	0.016	60
8	60		0.017	0.013	60	0.046	0.016	60	0.071	0.016	60	0.093	0.020	60
8	61		1.221	0.014	60	0.698	0.012	60	0.321	0.013	60	-0.049	0.013	60
21	2		-1.165	0.031	29	-1.066	0.035	28	-0.996	0.026	28	-0.942	0.032	29
21	3		0.443	0.026	29	0.055	0.026	28	-0.212	0.017	28	-0.477	0.020	29
21	5		-0.037	0.026	29	-0.025	0.029	28	-0.017	0.022	28	0.001	0.025	29
21	7		-0.290	0.026	29	-0.632	0.026	28	-0.860	0.018	28	-1.033	0.024	29
21	8		-0.037	0.018	29	-0.088	0.023	28	-0.116	0.016	28	-0.131	0.019	29
21	11		-0.221	0.026	29	-0.187	0.033	28	-0.156	0.022	28	-0.153	0.026	29
21	13		-3.321	0.024	29	-2.990	0.026	28	-2.713	0.020	28	-2.469	0.022	29
21	131					1.593	0.024	28	1.171	0.022	28	0.787	0.024	29
21	14					0.850	0.030	28	0.369	0.028	28	-0.068	0.026	29
21	15		-3.476	0.022	26	-3.139	0.022	28	-2.855	0.016	28	-2.611	0.018	29
21	17		0.509	0.016	29	0.479	0.017	28	0.463	0.017	28	0.433	0.021	29
21	18		0.986	0.036	29	0.618	0.034	28	0.348	0.024	28	0.112	0.026	29
21	19	15	0.648	0.019	29	0.236	0.026	28	-0.040	0.013	28	-0.298	0.015	29
21	21	2	0.198	0.011	29	0.212	0.016	28	0.228	0.011	28	0.236	0.012	29
21	231		1.686	0.028	29	1.201	0.017	28	0.852	0.020	28	0.535	0.013	29
21	27	1	-0.692	0.008	29	-0.620	0.011	28	-0.556	0.007	28	-0.504	0.009	29
21	292		1.640	0.026	29	1.118	0.014	28	0.752	0.017	28	0.433	0.013	29
21	31		-0.355	0.022	29	-0.377	0.026	28	-0.391	0.022	28	-0.400	0.022	29
21	32	18	0.818	0.011	29	0.427	0.007	28	0.140	0.011	28	-0.137	0.012	29
21	331		1.925	0.028	29	1.264	0.011	28	0.643	0.013	28	-0.137	0.013	29
21	35	6	1.051	0.013	29	0.619	0.013	28	0.327	0.013	28	0.115	0.011	29
21	36		0.944	0.016	29	0.469	0.012	28	0.153	0.008	28	-0.137	0.010	29
21	39	7	0.774	0.009	29	0.479	0.013	28	0.260	0.009	28	0.082	0.011	29
21	40		0.270	0.017	29	0.250	0.021	28	0.237	0.016	28	0.237	0.022	29
21	42	13	0.381	0.015	29	-0.046	0.011	28	-0.329	0.011	28	-0.549	0.008	29
21	47		-0.284	0.012	29	-0.835	0.013	28	-1.224	0.011	28	-1.594	0.010	29
21	471					1.782	0.024	28	1.200	0.029	28	0.622	0.013	29
21	50	3	-1.108	0.009	29	-1.296	0.013	28	-1.417	0.010	28	-1.468	0.011	29
21	51		0.505	0.024	29	0.390	0.024	28	0.317	0.018	28	0.282	0.018	29
21	52		-0.589	0.018	29	-0.577	0.022	28	-0.570	0.018	28	-0.556	0.020	29
21	54		-0.717	0.016	29	-1.468	0.019	28	-2.039	0.015	28	-2.557	0.016	29
21	542		1.836	0.030	29	1.270	0.027	28	0.856	0.016	28	0.495	0.017	29
21	57		-2.595	0.032	29	-2.570	0.038	28	-2.530	0.028	28	-2.454	0.032	29
21	59		0.334	0.030	29	-0.086	0.033	28	-0.503	0.025	28	-0.834	0.025	29



표 3. 표준성의  $V$ ,  $B - V$ ,  $V - R$ ,  $R - I$  등급과 관측된  $\Delta b$ ,  $\Delta v$ ,  $\Delta r$ , 그리고  $\Delta i$ 의 값.

$K^3$	$M^1$	$V$	$B - V$	$V - R$	$R - I$	$\Delta v$	$\Delta b - \Delta v$	$\Delta v - \Delta r$	$\Delta r - \Delta i$	$D^2$
2	21	12.803	0.075	0.047	0.037	0.202	-0.009	-0.017	-0.013	6
						0.208	-0.013	-0.019	-0.001	7
						0.205	-0.011	-0.016	-0.006	8
						0.212	-0.014	-0.016	-0.008	21
3	50	11.242	0.339	0.172	0.106	-1.307	0.188	0.119	0.042	6
						-1.310	0.185	0.118	0.053	7
						-1.307	0.187	0.120	0.053	8
						-1.296	0.188	0.121	0.051	21
4	30	13.026	-0.064	-0.033	-0.042	0.430	-0.119	-0.101	-0.123	6
						0.442	-0.121	-0.091	-0.118	7
						0.429	-0.118	-0.098	-0.116	8
5	38	14.254	0.165	0.093	0.096	1.709	0.065	0.054	0.001	8
6	35	13.155	0.643	0.332	0.257	0.618	0.427	0.302	0.216	8
						0.619	0.432	0.292	0.212	21
7	39	13.002	0.453	0.259	0.229	0.477	0.288	0.214	0.185	6
						0.487	0.288	0.221	0.180	7
						0.468	0.295	0.217	0.186	8
						0.479	0.295	0.219	0.178	21
8	37	13.935	-0.074	0.124	0.015	1.253	-0.036	-0.030	-0.071	8
9	41	13.693	0.049	0.039	0.037	1.112	-0.022	-0.016	-0.061	8
10	28	13.523	0.023	0.020	0.016	0.923	-0.051	-0.046	-0.042	8
11	29	12.580	0.086	0.069	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	6
						0.000	0.000	0.000	0.000	7
						0.000	0.000	0.000	0.000	8
						0.000	0.000	0.000	0.000	21
12	26	13.470	0.094	0.069	0.062	0.889	0.011	0.003	0.005	6
						0.887	0.014	-0.004	0.023	7
						0.892	0.005	0.000	0.014	8
13	42	12.501	0.657	0.321	0.262	-0.037	0.431	0.279	0.229	7
						-0.049	0.436	0.279	0.226	8
						-0.046	0.427	0.283	0.220	21
14	43	13.537	0.290	0.162	0.130	0.972	0.149	0.112	0.069	8
15	19	12.826	0.649	0.320	0.275	0.260	0.406	0.275	0.274	7
						0.237	0.417	0.269	0.265	8
						0.236	0.412	0.276	0.258	21
16	22	14.052	0.126	0.068	0.056	1.452	0.019	0.005	-0.005	8
18	32	12.963	0.604	0.324	0.298	0.420	0.385	0.289	0.270	6
						0.414	0.391	0.287	0.277	8
						0.427	0.391	0.287	0.277	21

와 같이 계산한 것이다. 여기서 아래첨자  $i$ 와 11은  $K^3$ 의 번호를 뜻하고, GSC와 EK는 각각 Guide Star Catalog와 Elias & Koch(2000) 임을 뜻한다.

그림 2는 표 3의 자료( $K^3$  8 자료 제외)를 이용해서 그린  $(B - V) vs (Vv)$ ,  $(B - V) vs (bv)$ ,  $(V - R) vs (vr)$ ,  $(R - I) vs (ri)$ 인데, 각 그림에서 각 변수간 좋은 1차 선형관계가 있음을 알 수 있다. 여기서  $Vv$ ,  $bv$ ,  $vr$ ,  $ri$ 는 각각  $(V - \Delta v)$ ,  $(\Delta b - \Delta v)$ ,  $(\Delta v - \Delta r)$ ,  $(\Delta r - \Delta i)$ 을 의미한다. 또한, 각각의 그림에 있는 변수들간의 선형관계를 최소자승법으로

$$Vv = -.0689(B - V) + 12.5863 \quad (\sigma = 0.0187) \quad (17)$$

$$bv = 0.7577(B - V) - 0.0662 \quad (\sigma = 0.0077) \quad (18)$$

$$vr = 1.0857(V - R) - 0.0672 \quad (\sigma = 0.0063) \quad (19)$$

$$ri = 1.1246(R - I) - 0.0647 \quad (\sigma = 0.0146) \quad (20)$$

와 같이 얻었다. 여기서  $\sigma$ 는 표준편차이다.  $K^3$ 가 8번인 경우는  $Vv$ ,  $bv$ ,  $vr$ 의 오차가  $3\sigma$ 보다 크기 때

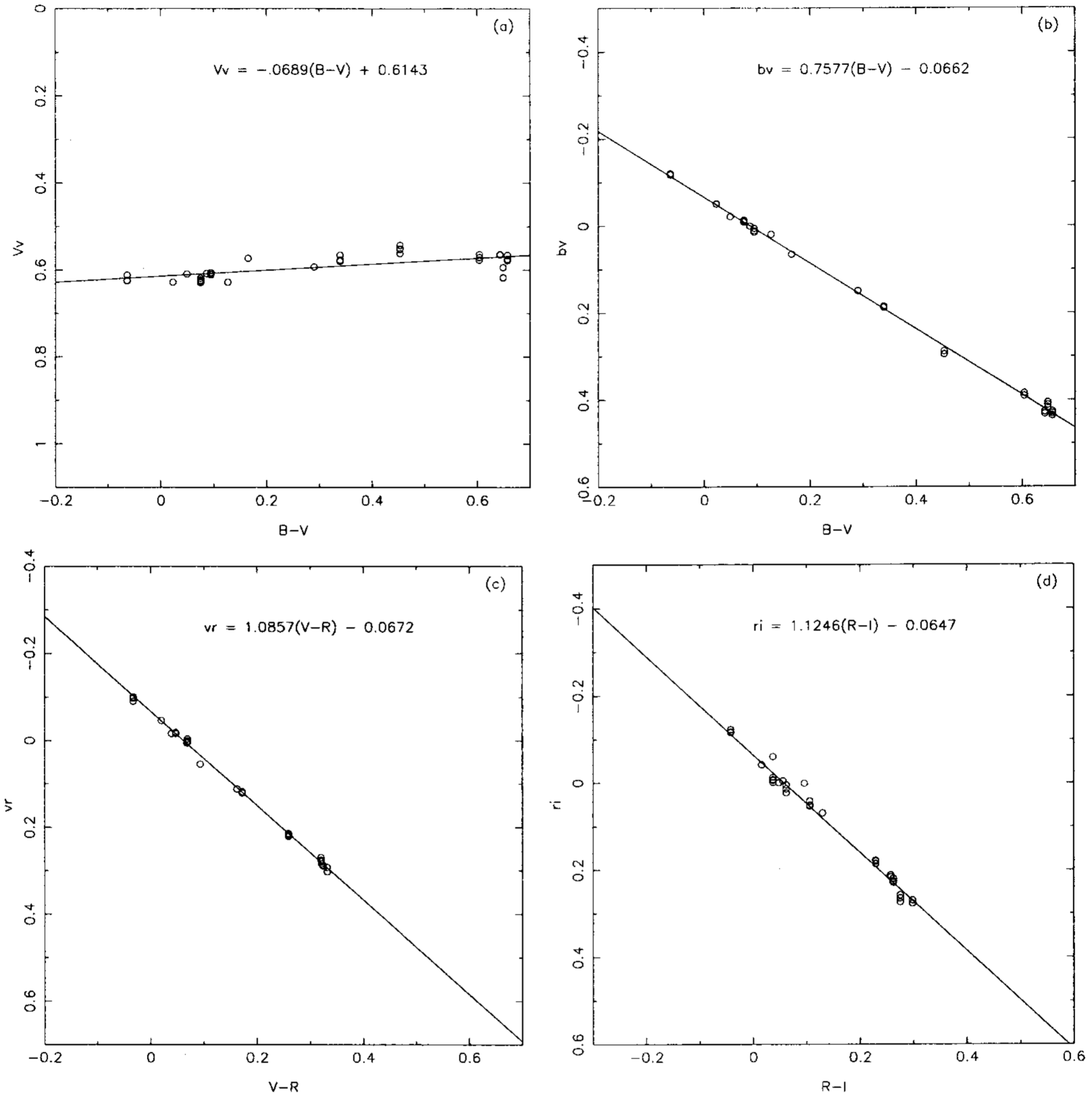


그림 2. 표준계(BVRI)와 SOAO 측광계(bvri)의 관계. (a):  $(B - V)$  vs  $(Vv)$ , (b):  $(B - V)$  vs  $(bv)$ , (c):  $(V - R)$  vs  $(vr)$ , (d):  $(R - I)$  vs  $(ri)$ .  $Vv$ ,  $bv$ ,  $vr$ ,  $ri$ 는 각각  $(V - \Delta v)$ ,  $(\Delta b - \Delta v)$ ,  $(\Delta v - \Delta r)$ ,  $(\Delta r - \Delta i)$ 을 뜻한다.

문에 제외한 것이다. 이 식들의 우변 첫째 항 계수를 식 (11)~(14) 등의 계수들과 각각 비교하면,

$$\beta = -0.0689, \quad \frac{1}{\epsilon} = 0.7577, \quad \frac{1}{\mu} = 1.0857, \quad \frac{1}{\phi} = 1.1246, \quad (21)$$

$$\beta = -0.0689, \quad \epsilon = 1.3197, \quad \mu = 0.9210, \quad \phi = 0.8892 \quad (22)$$

을 얻었고, 우변의 상수들도 식 (11)~(14) 등의 상수들과 각각 비교하여

$$\zeta_v + V_c = +0.6134 \quad (23)$$

$$\frac{1}{\epsilon}[\zeta_{bv} + (B - V)_c] = -0.0662 \quad (24)$$

$$\frac{1}{\mu}[\zeta_{vr} + (V - R)_c] = -0.0672 \quad (25)$$

$$\frac{1}{\phi}[\zeta_{ri} + (R - I)_c] = -0.0647 \quad (26)$$

으로 얻었다. 이 식에 식 (15)와 식 (22)의 값을 대입하여

$$\zeta_v = 0.0063, \quad \zeta_{bv} = -0.1733, \quad \zeta_{vr} = -0.1309, \quad \zeta_{ri} = -0.1055 \quad (27)$$

을 얻었다. 식 (22)와 식 (27)의 값을 식 (7), (8), (9), (10)에 대입하여

$$V = v - 0.0689(B - V) + 0.0063 \quad (28)$$

$$B - V = 1.3197(b - v) - 0.1733 \quad (29)$$

$$V - R = 0.9210(v - r) - 0.1309 \quad (30)$$

$$R - I = 0.8892(r - i) - 0.1055 \quad (31)$$

와 같은 SOAO *bvri* 측광계으로부터 Johnson-Cousins *BVRI* 표준계로의 변환방정식을 얻었다. 식 (28) ~ (31)에 식 (3) ~ (6)과 식 (15)를 대입하여 정리하면,

$$V = \Delta v - 0.0909(\Delta b - \Delta v) + 12.5923 \quad (32)$$

$$B - V = 1.3197(\Delta b - \Delta v) - 0.0873 \quad (33)$$

$$V - R = 0.9210(\Delta v - \Delta r) - 0.0619 \quad (34)$$

$$R - I = 0.8892(\Delta r - \Delta i) - 0.0575 \quad (35)$$

와 같은 식을 얻는데, 이 식들이 SOAO 측광장치로 관측한 기계등급과 색지수를 표준 등급 및 색지수로 환산하는데 더 실용적인 변환식이다.

#### 4. 적용과 검토

SOAO 측광장치로 관측한  $\Delta b$ ,  $\Delta v$ ,  $\Delta r$ ,  $\Delta i$ 을 가지고 식 (32) ~ (35)를 이용하여 환산한 표준등급 및 색지수  $V$ ,  $B - V$ ,  $V - R$ ,  $R - I$ 를 표 4에 정리하였다. 여기서  $M^1$ 은 그림 1에서의 번호이고,  $GS^2$ 는 GSC 03257-하위자리 번호이며,  $V_{GSC}$ 는 GSC에서 주어진  $V$  등급이다. 표 4의 3째 줄에 정리한 GSC에서 얻은  $V_{GSC}$ 와 4번째 줄에 정리한  $V_{OBS}$ (이 연구에서 얻은  $V$ )의 상관관계를 알아보기 위하여  $V_{GSC}$  vs  $V_{OBS}$ 를 그림 3과 같이 그렸다. 여기서 각 점들을 대표하는 직선의 식을 최소 자승법으로 구하고, 상관계수를 계산하였는데, 직선의 기울기는 1.0351이고 절편은 -0.4102이며 상관계수는  $r = 0.99256$ 이다. 이 값들과 그림 3은 식 (32)~(35)으로 환산한 표준등급과 GSC 등급이 표준편차가  $\sigma_x = 0.1185$ ,  $\sigma_y = 0.1226$  정도로 일치함을 보이고 있다.

표 4.  $V, B - V, V - R, R - I$  관측점들.

$M^1$	$GS^2$	$V_{GSC}$	$V$	$B-V$	$V-R$	$R-I$	$M^1$	$GS^2$	$V_{GSC}$	$V$	$B-V$	$V-R$	$R-I$
1	728	11.01	11.085	0.882	0.326	0.284	34	791	13.42	13.514	0.325	0.050	0.032
2	1458	11.62	11.525	-0.050	-0.129	-0.106	35	1506	13.27	13.171	0.685	0.211	0.133
3	847	12.61	12.606	0.619	0.186	0.179	36	374	12.93	13.015	0.748	0.230	0.200
4	1588	13.25	13.341	0.134	-0.042	-0.019	37	-	-	13.849	0.037	-0.090	-0.121
5	1180	12.79	12.569	0.066	-0.074	-0.067	38	-	-	14.295	0.178	-0.012	-0.057
6	1310	13.15	13.157	0.143	-0.043	-0.029	39	1577	13.11	13.043	0.493	0.139	0.105
7	586	11.71	11.929	0.561	0.145	0.104	40	1160	12.72	12.842	0.114	-0.053	-0.047
8	1671	12.58	12.499	0.153	-0.039	-0.036	41	-	-	13.706	0.057	-0.077	-0.112
9	1480	13.47	13.498	0.143	-0.042	-0.043	42	221	12.50	12.509	0.688	0.196	0.142
10	580	13.24	13.307	0.331	0.043	0.031	43	1336	13.51	13.551	0.295	0.041	0.004
11	1094	12.55	12.408	0.034	-0.093	-0.060	44	480	13.69	13.683	0.128	-0.051	-0.034
12	988	13.45	13.602	0.385	0.083	0.076	45	500	13.63	13.664	0.183	-0.022	-0.008
13	14	9.82	9.622	-0.360	-0.317	-0.273	46	618	13.55	13.608	-0.042	-0.132	-0.091
14	1930	13.39	13.396	0.999	0.386	0.340	47	884	11.60	11.708	0.855	0.296	0.272
15	1262	9.72	9.473	-0.358	-0.326	-0.273	48	530	13.11	13.153	0.190	-0.033	-0.030
16	831	13.51	13.359	0.064	-0.075	-0.067	49	746	13.44	13.592	0.162	-0.042	-0.046
17	2107	13.04	13.066	0.128	-0.046	-0.030	50	1068	11.16	11.270	0.348	0.049	-0.013
18	5	13.13	13.184	0.603	0.185	0.160	51	994	13.01	12.971	0.240	-0.001	-0.022
19	1156	12.72	12.799	0.660	0.190	0.179	52	986	11.97	12.017	0.070	-0.075	-0.070
20	1154	13.42	13.560	0.281	0.029	0.048	53	1984	13.67	13.656	0.143	-0.035	-0.037
21	1363	12.97	12.800	0.071	-0.078	-0.064	54	1326	10.90	11.051	1.141	0.461	0.409
22	173	14.04	14.043	0.114	-0.057	-0.062	542	889	13.58	13.811	0.875	0.319	0.264
23	823	13.11	13.051	-0.076	-0.150	-0.111	543	950	13.83	14.074	0.879	0.319	0.289
231	864	13.55	13.749	0.762	0.260	0.224	55	1305	13.62	13.705	0.122	-0.048	-0.048
24	47	13.05	13.448	-0.151	-0.204	-0.161	56	757	12.99	12.833	-0.132	-0.187	-0.139
26	841	13.37	13.481	0.101	-0.062	-0.045	57	747	10.11	10.015	0.054	-0.104	-0.124
28	1168	13.51	13.520	0.016	-0.104	-0.095	58	1225	13.97	14.024	-0.126	-0.193	-0.184
29	11	12.58	12.592	0.087	-0.062	-0.058	59	949	12.17	12.476	0.665	0.317	0.238
292	883	13.40	13.663	0.814	0.275	0.226	60	1101	12.65	12.612	0.045	-0.096	-0.074
30	113	13.02	13.037	-0.079	-0.151	-0.163	61	759	13.12	13.243	0.815	0.285	0.272
32	1354	12.85	12.977	0.628	0.203	0.187							

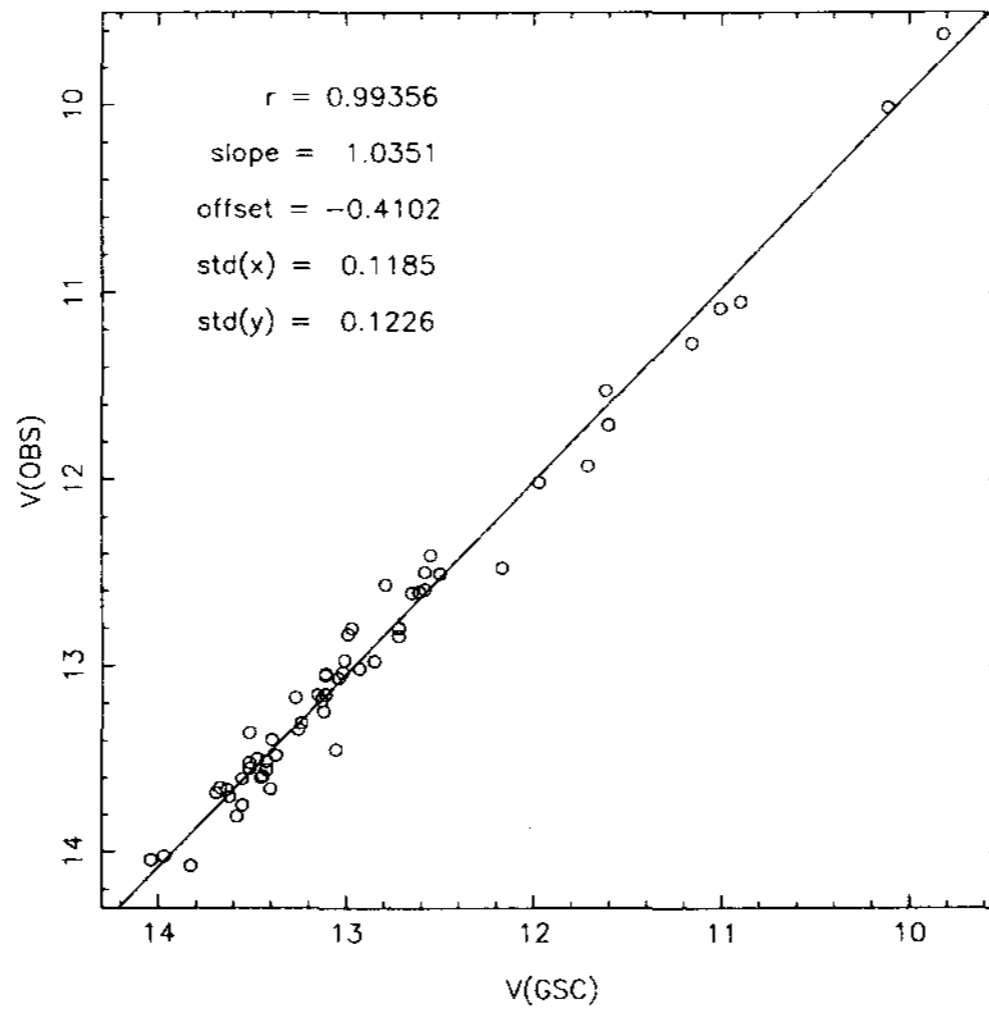


그림 3.  $V(GSC)$ 와  $V(OBS)$ 의 관계.  $V(GSC)$ : 표 4의 3번째 줄의  $V_{GSC}$ ,  $V(OBS)$ : 표 4의 4번째 줄의  $V$ .

SOAO *bvri* 측광계와 표준측광계와의 관계를 설정하려고 시도한 이 연구는 근접쌍성 V523 Cas의 연구(정장해 등 2003)를 위해 관측한 자료를 이용한 것이기 때문에, 여기서 사용한  $\Delta m$ 은 대기감광 효과를 보정하지 않은 것이다. 따라서 이 값들은 대기소광을 고려하면,

$$\Delta m = m_i - m_c = (m_{oi} - m_{oc}) + k_f(X_i - X_c) \tag{36}$$

표 5. BVRI 표준계와 SOAO 측광계의  $\lambda_{eff}$ 와  $\Delta\lambda$ .

필터	표준계		SOAO 측광계	
	$\lambda_{eff}$	$\Delta\lambda$	$\lambda_{eff}$	$\Delta\lambda$
B	4361	890	4309.2	1035.9
V	5448	840	5340.6	880.2
R	6407	1580	6294.2	1205.4
I	7980	1540	8980.2	3486.3

와 같이 이론적으로 표시할 수 있는데, 이 연구에서는 대기감광효과를 보정하지 않았으므로 결국  $k_f \Delta X_i$  값 만큼 오차를 포함하고 있다.  $\Delta X_i$ 는 두 별의 대기통과거리  $X_i$ 와  $X_c$ 의 차  $\Delta X_i = X_i - X_c$ 이므로 이 연구에 사용된 영상의 관측시각 중 고도가 가장 낮은 때의 비교성의 천정거리가 50도 정도로 보고 계산하면  $X_c = 1.55572$ 이고,  $K^3$  모든 별이 10' 각 이내에 있으므로 최대 천정거리를 50.2도 하여 계산하면  $X_c = 1.56223$ 이 된다. 결국  $\Delta X_i = 0.00651$ 이다. 또한 대기감광계수  $k_f(k_b, k_v, k_r, k_i)$ 은 Jeong(1991)에 의하면 대략  $k_f = 0.35 \sim 0.10$ 의 값을 갖는다. 따라서 여기서 사용한  $\Delta m$ 이 대기감광량 미보정으로 발생할 수 있는 오차는 최대 0.0007 등급 정도라고 말할 수 있다.

표준측광계는 임의 측광장치로 얻은 천체들의 등급과 색지수의 측정값에 대한 실험적 잣대를 제공하기 위해서 개발된 것이다. 대기상태와 관측장비가 아주 좋은 곳의 측광 정밀도는 0.001 등급 이하로 내려 간다(Elias & Kock 2000). 그러나 표준화 과정에서 추가되는 계통적오차의 원인은 관측 파장대의 불일치와 표준성의 선정이 H-R도의 제한적 영역에 국한되기 때문이다(Bessell 2005). 다행히도 이 연구에서 사용한 표준성들은 그림 2에서 보는 바와 같이 B-V 값이 -0.1에서 0.7 범위에 골고루 분포되어 있어, 이때문에 생기는 계통적 오차는 없을 것으로 본다. 또 다른 계통적 오차인 관측 파장대 불일치의 문제를 해소하기 위한 가장 이상적인 방법은 측광장치를 만들때 관측 파장대를 표준측광계의 파장에 가장 근접하게 하는 것인데, 필터와 감지기를 제작하는 과정에서 피할 수 없는 여러 어려움이 있다. 그렇기 때문에 측광장치의 전체적인 파장대 특성을 계산하기 위해서 파장별로 필터의 투과율, 감지기의 감도, 망원경과 카메라의 투과율 등을 측정하는 것은 필수적이다. 이 경우 망원경과 카메라에 의한 특성과 CCD의 특성에 따른 효과는 작고, 주로 필터의 특성에 의존된다고 판단된다.

이 연구에서 사용한 표준계의 파장별 특성과 SOAO 측광장치에 장착된 필터의 특성은 표 5에 정리된 바와 같다. 여기서 표준계는 Johnson-Cousins 표준계이며  $\lambda_{eff}$ 는 중심 파장을,  $\Delta\lambda$ 는 대역폭을 의미하며, 그 단위는 Å이다. 표 5에서 표준계의 값은 Bessell(2005)의 값이며, SOAO 측광계의 값은 SOAO 측광장치에 채용하고 있는 필터의 제작회사인 Andover Corporation의 기술보고서에서 인용한 값이다. 표 5에서 보면 I 필터의 경우를 제외하고는 대체로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이때문에 이 연구에서 얻은 결과에도 I에 계통적 오차가 더 컸을 것으로 본다.

이 연구를 통하여 SOAO 측광계의 표준화 작업을 변광성의 시계열 관측자료를 이용해서도 수행할 수 있다는 것을 보였다. 이와 같은 방법이 여러 관측자들의 기존의 관측자료에 적용되어 소백산 천문대의 측광계의 계절별, 년도별 표준화 계수들이 축적된다면 관측된 측광 자료의 활용도가 좀 더 증진될 것이다.

### 참고문헌

- 김승리, 경재만, 권순길, 윤재혁 2001, 천문학논총, 16, 37  
정장해, 김천휘, 이용삼 2003, 한국우주과학회지, 19, 263  
Bessell, M. S. 2005, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 43, 293  
Cousins, A. W. J. 1976, *MNRAS*, 81, 25  
Cousins, A. W. J. 1980, *SAAO Circ.*, 1, 234  
Elias, N. M. & Koch, R. H. 2000, *AJ*, 120, 1548  
Jeong, J. H. 1991, *Astro. Soc. of Australia. Proc.* 9, 320  
Johnson, H. L. 1955, *Ann. Astrophys.*, 18, 292  
Johnson, H. L. & Harris, D. L. 1954, *ApJ*, 120, 196  
Johnson, H. L. & Morgan, W. W. 1953, *ApJ*, 117, 313