

단주기변광성 탐사의 예비결과: 시험영역에서 발견된 새로운 변광성  
PRELIMINARY RESULTS FOR SHORT-PERIOD VARIABILITY SURVEY  
(SPVS): NEW FIELD VARIABLE STARS

전영범<sup>1</sup>, 남기형<sup>2</sup>, 박운호<sup>1</sup>, 이경훈<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

<sup>2</sup>장영실과학고등학교

<sup>3</sup>과학영재학교

YOUNG-BEOM JEON<sup>1</sup>, KI-HYUNG NAM<sup>2</sup>, YOON-HO PARK<sup>1</sup>, AND KYUNG-HOON LEE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute

<sup>2</sup>Jang Young Sil High School

<sup>3</sup>Korea Science Academy

E-mail: ybjeon@kasi.re.kr

(Received November 8, 2007; Accepted December 18, 2007)

ABSTRACT

Preliminary time-series observations for short-period variability survey (SPVS) were carried out using a 155mm refractor and a 2k × 3k CCD camera at Bohyunsan Optical Astronomy Observatory. We found 21 new variable stars in the 90' × 60' test field region : 9 eclipsing binary stars, 5  $\delta$  Scuti type stars, a  $\gamma$  Doradus type star, and 6 long period variables. The observing field center is R.A. 05<sup>h</sup> 00<sup>m</sup> 00<sup>s</sup>, DEC. 50° 00' 00" (J2000.0). The period and amplitude ranges for the short-period variables, i.e.,  $\delta$  Scuti stars, were 0.052day – 0.107day and 0.012mag – 0.064mag, respectively.

*Key words:* stars: variables —  $\delta$  Scuti; Eclipsing binaries

1. 서론

2003년부터 보현산천문대의 구경 155mm 소형망원경을 이용한 단주기 변광성 탐사연구(SPVS)를 통해 그동안 Jeon et al. (2004a, 2004b, 2005a, 2005b) 에 관측기기에 대한 설명과 몇 가지 관측 결과를 발표하였다. 이번 연구는 시험관측 결과 중의 하나로서 임의의 영역에 대해 시계열관측을 수행하여 변광성 탐사를 한 결과이다. 특히 이 영역은 GCVS(General Catalogue of Variable Stars; Samus et al. 2004)에서 어떠한 변광성도 기록되어 있지 않은 영역이다. SPVS는 일정한 영역에 대해 1주일 이상 집중적인 시계열관측을 수행하여 미세하게 변광하는 단주기 변광성을 체계적으로 탐사하는데 그 목적이 있다. 따라서 기존의 연구 결과인 HIPPARCOS, TYCHO, ROTSE (Robotic Optical Transient Search Experiment; Akerlof et al. 2000) 및 NSVS (Northern Sky Variability Survey; Wozniak et al. 2004) 등과 차별화된 연구 결과를 얻을 수 있다. 기존의 탐사연구는 하나의 영역에 대해 집중적인 시계열관측을 수행한 것이 아니며, 단위 화소당 너무 넓은 관측 시야가 포함되어 광도곡선의 정밀도가 낮기 때문에 미세하게 변하는 단주기 변광성은 쉽게 찾아내기 어려운 단점이 있었다. SPVS의 경우 비록 전하늘을 모두 포함하

는 넓은 관측에는 한계가 있지만 Jeon et al. (2005b)에서 10개의 단주기 변광성이 발견되고, 이번에도 임의의 영역에서 5개의 단주기 변광성이 발견되어 효율적인 탐사가 가능함을 알 수 있다. 그 동안의 시험 관측 결과 진폭이 큰 식쌍성의 경우 대략  $V$  에 대해 16등급까지 발견되었으며, 단주기 변광성의 경우는 14등급 이상까지 발견되었다.

2절에서는 관측 및 분석을 정리하였고, 3절에 그 결과를, 그리고 마지막 절에 전체결과의 요약 및 검토가 이루어졌다.

2. 관측 및 분석

대부분의 관측은 2003년에 이루어졌으며, 이 때는  $V$  필터에 의한 단일 필터 관측만 수행하였고 앙상블 정규화 (Jeon et al. 2004c) 처리를 위해 2007년에  $B$ ,  $V$  필터 관측을 하루 추가하였다. 주된 관측일은 2003년 12월 23일, 26일, 28일 및 2004년 1월 4일까지 4일간이며, 2007년 10월 16일에  $B$ ,  $V$  칼라 관측이 이루어졌다. 기본적인 노출 시간은 150초이며, 이 경우 대략  $V$  필터로 9.5등급 보다 밝은 별은 대부분 포화되어 측광이 불가능하다.

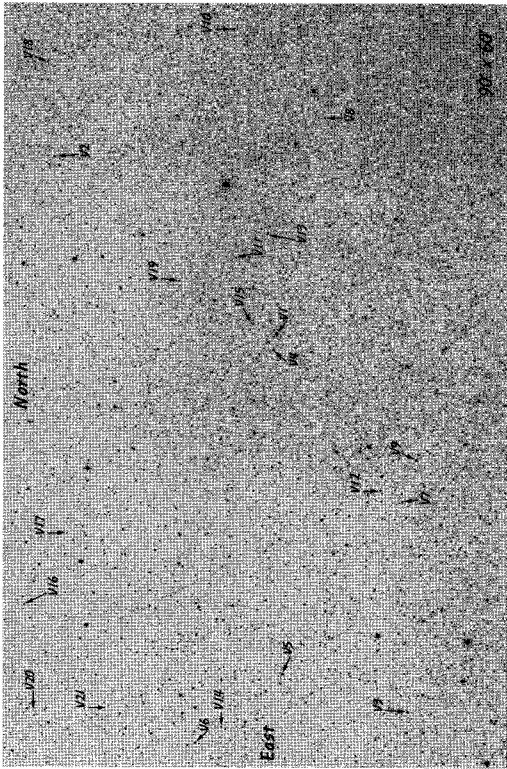


그림 1.— 새로 발견된 변광성의 분포도. 중심 좌표는 R.A.  $05^h 00^m 00^s$ , DEC.  $50^\circ 00' 00''$  (J2000.0) 이다.

관측에 사용된 망원경은 구경 155mm의 소형 굴절 망원경이며,  $2048 \times 3072$  소자를 가지고 있는 Apogee 사의 AP9E CCD 카메라가 사용되었다. AP9E CCD 카메라는 Kodak KAF6303E칩을 사용하는데 각 소자의 크기는  $9 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m}$ 이며, 155mm 굴절망원경에 부착하였을 때 소자당  $1.77\text{arcsec}$ 의 관측시야를 가진다. 따라서 전체 관측영역은  $1.0^\circ \times 1.5^\circ$ 이다. 관측 시스템에 대한 자세한 설명은 Jeon et al. (2005a, 2005b)에 수록되었다. 2003년의 관측에서는 CCD의 온도를  $-25^\circ\text{C}$  이하로 내릴 경우 CCD 표면에 성애가 발생하였다. 따라서 CCD 온도는  $-20^\circ\text{C}$ 를 유지하였고, 한 번 전원이 꺼져서 상온으로 CCD 온도가 높아졌다가 다시 냉각시키면 성애가 쉽게 발생하는 등 어려움이 따랐다. 이후 CCD 카메라 전체를 진공챔버에서 1주일정도 진공 처리하여 아르곤 가스를 충전한 후부터는 이러한 문제가 발생하지 않아서 2007년도 자료는  $-30^\circ\text{C}$ 로 관측되었다.

그림 1은 V 영상 중 하나이며, 21개의 새로 발견한 변광성을 모두 나타내었다.

각각의 변광성에 대한 자세한 정보는 표 1에 수록되었다. 관측된 CCD 영상자료는 IRAF/CCDRED (Stetson 1987, Massey & Davis 1992)를 이용하여 영점보

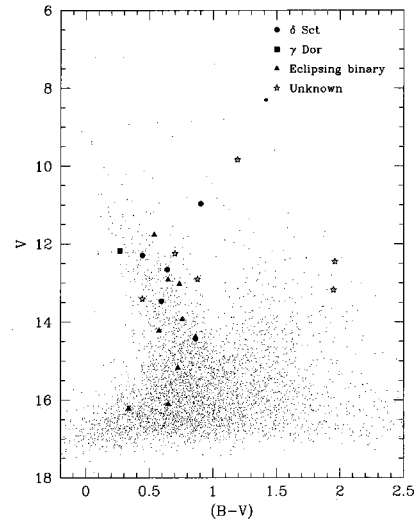


그림 2.— 관측된 영역의 색-등급도. B와 V 등급은 기기 등급을 NOMAD1 카탈로그의 등급으로 영점만 보정한 것이다.

정, 암잡음보정, 플랫보정의 전처리 과정을 수행하였으며, 이 과정은 Jeon et al. (2005b)와 같다. 측광 과정도 Jeon et al. (2005b)와 같지만 별의 모양이 비교적 안정되어 구경측광 반경을 5 pixel로 줄였다. 측광이 이루어진 자료로부터 기기등급이 구해진 임의의 별의 등급을 NOMAD1 카탈로그의 등급으로 영점 보정한 B와 V 등급을 이용한 그림 2의 색-등급도(CMD)를 얻고 이 결과를 이용하여 모든 영상의 측광된 별을 정규화하였다. 이 과정은 Jeon et al. (2004c)의 앙상블 정규화 과정과 같다. 그림 2에서 B와 V 등급은 정확한 표준화를 거친 등급은 아니므로 정규화 과정에서 색보정 값이 다소 차이 날 수 있겠으나 우리는 변광성을 찾는 데 더 큰 목적이 있으므로 큰 문제는 아니라고 판단하였다. 이 영역에는 알려진 산개성단이 없지만 은하면을 관측하여 별들의 뚜렷한 주계열 분포가 나타난다. 그림 2에서 대략 V필터로 15.5등급 아래에서 측광오차가 증가하여 별의 분포가 넓게 퍼져 버리는데 이것은 V 필터와 같은 노출을 준 B 등급의 오차에서 기인한 것으로 보이며, 이보다 어두운 영역에서 발견된 식변광성 2개는 V 필터 결과에서 찾았다.  $\delta$  Scuti,  $\gamma$  Dor 및 식 변광성은 각각 검은 원, 검은 사각형 및 검은 삼각형으로 나타내었고, 변광성 분류와 주기 결정이 안되는 변광성은 별표로 나타내었다.

측광된 모든 별은 정규화 과정을 거친 등급을 이용하여 컴퓨터 화면에 광도 곡선을 하나씩 띄워서 육안으로 변광 여부를 확인하였다. Jeon et al. (2004b)에서는 임의의 비교성 하나를 택하여 나머지 전체 별의 등급을 빼주는 차등측광 방식으로 변광 여부를 조사하였다. 이 경우는 비교성과 멀리 떨어진 별의 경우 실제

표 1.— 새로 발견된 변광성들.

No.	R.A.+DEC. (J2000.0; 2MASS)	USNO-B1.0 ID	NOMAD1			P (day)	Amplitude (mag)	Type
			B	V	R			
V1	04585058+4950572	1398-0137094	11.377	9.778	8.900	-	-	LP
V2	04563151+5014346	1402-0135998	12.603	10.889	10.010	0.107	0.012	$\delta$ Scuti
V3	05032264+4939179	1396-0140322	12.249	11.360	10.800	0.4801	0.15	EW
V4	05025018+4953176	1398-0137194	12.234	11.977	11.830	0.619	0.064	$\gamma$ Dor
V5	05025018+4953176	1398-0139497	12.780	12.190	11.360	-	-	LP
V6	05033426+5003485	1400-0141424	12.870	12.450	11.820	0.054	0.014	$\delta$ Scuti
V7	05005514+4938082	1396-0138922	14.210	12.600	11.140	-	-	LP
V8	04562211+4943183	1397-0136747	13.410	12.700	12.380	0.052	0.027	$\delta$ Scuti
V9	05002697+4936118	1396-0138660	13.760	12.990	12.200	-	-	LP
V10	04551372+4952526	1398-0135189	13.190	13.130	12.340	0.3451	0.23	EW
V11	04575454+4954535	1399-0137165	13.950	13.260	12.770	0.7567	0.60	EB
V12	05004618+4940307	1396-0138835	14.850	13.180	11.950	-	-	LP
V13	04574012+4951024	1398-0139118	13.780	13.290	13.400	-	-	LP
V14	05032433+5000431	1400-0141333	15.10	-	13.73	0.117	0.064	$\delta$ Scuti
V15	04584132+4953475	1398-0137002	14.270	13.690	13.350	0.5347	0.13	EW
V16	05014748+5022149	1403-0139444	14.270	14.010	14.200	0.9925	0.18	EW ?
V17	05005902+5016462	1402-0138815	14.750	13.990	13.790	0.3516	0.12	EW
V18	04552412+5014251	1402-0135430	14.770	14.100	13.730	0.059	0.033	$\delta$ Scuti
V19	04580741+5001377	1400-0138029	15.130	14.380	-	-	-	EA
V20	05030304+5022039	1403-0140208	15.870	15.470	15.610	0.3344	0.5	EW
V21	05030524+5013367	1402-0139962	16.300	15.690	16.070	0.3439	0.4	EW

변광여부와 관계없이 다양한 형태의 광도곡선 변화가 나타나서 변광여부를 판단하기 어려운 단점이 있었다. 따라서 다양한 비교성으로 반복적인 광도곡선 조사가 필요하였다. 하지만 앙상블 정규화 처리를 하면 모든 별이 기준 등급으로 정규화되므로 비정상적인 광도 곡선의 변화가 거의 나타나지 않아서 변광성을 찾아내는 데 훨씬 유리하다.

### 3. 결과

표 1에 새로 발견된 변광성의 자료를 목록으로 만들었다. 새로 발견된 변광성은 모두 21개이며, 이 중에서 5개는  $\delta$  Scuti형 변광성, 1개는  $\gamma$  Dor 변광성, 9개는 식 변광성이며, 나머지 6개는 변광형태와 주기 결정이 안 되는 변광성이다. 표 1에서 변광성 번호는 밝기 순이며, 좌표는 2MASS, ID는 USNO-B1.0, 등급은 NOMAD1에서 인용하였다. 그림 2의 CMD에서 얻은 등급은 단순히 영점만 보정된 값이라서 표에는 제시하지 않았다. 주기와 진폭은 이 연구에서 얻은 결과이며, 진폭은 최대밝기와 최소밝기의 차이인 전체진폭이다. 전체적으로  $V = 9.78 \sim 15.69$ 의 분포를 보이며,  $\delta$  Scuti형 변광성은 10.9등급에서 14.1등급까지 관측되었다.

#### 3.1. $\delta$ Scuti형 변광성과 $\gamma$ Doradus형 변광성

21개의 새로운 변광성 중에서 5개가  $\delta$  Scuti형 변광성으로 분류되었다. 이들의 광도 곡선을 그림 3에 나타내었다. 이들은 모두 맥동주기를 찾기위해 관측자료에 대해 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform)과 다중회귀에 의한 주기 분석(Kim & Lee 1995)을 수행하였다. 그 결과로서 그림 3의 관측자료(검은 점)에 실선으로 주기분석 계산치를 맞추었는데 잘 맞는 것을 알 수 있다. 이들의 파워 스펙트럼을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 마지막 V4는  $\gamma$  Doradus형 변광성의 파워 스펙트럼이며, 나머지는  $\delta$  Scuti형 변광성에 대한 결과이다.  $\delta$  Scuti형 변광성에서는 하루 단위의 가짜주기가 뚜렷이 나타나는데 미세하게 변하는 영점 변화에 기인한 것으로 보인다.

이들  $\delta$  Scuti형 변광성과  $\gamma$  Doradus형 변광성에 대한 주기 분석 결과를 표 2에 정리하였다. 표 2에서 주파수는 Breger et al. (1993)에 의해 제안된 신호대 잡음비 ( $S/N$ )  $\geq 4.0$  인 것을 택하였다. 신호대 잡음비는 각 주기의 파워값을 모든 주기를 검출하고난 후의 평균 파워값으로 나누어 제곱근을 취한 것으로 정의되었다 (Jeon et al. 2004c).

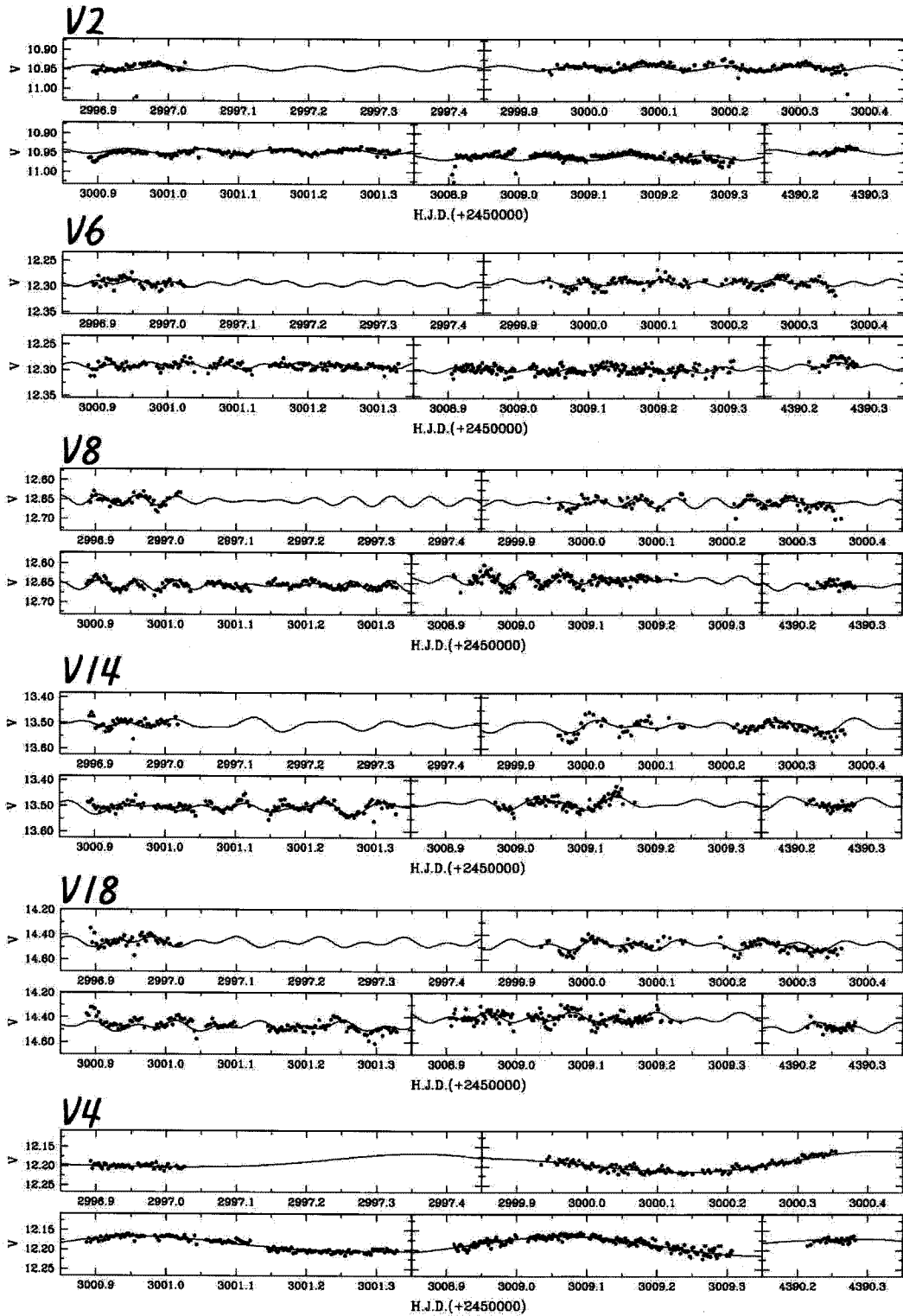


그림 3.—  $\delta$  Scuti형 변광성과  $\gamma$  Doradus형 변광성의 광도곡선. 위의 5개는  $\delta$  Scuti형 변광성에 대한 광도곡선이며, 마지막 하나(V4)는  $\gamma$  Doradus형 변광성의 것이다. 검은 점은 관측자료이며, 실선은 주기분석의 결과로 얻어진 결과를 중첩한 것이다.

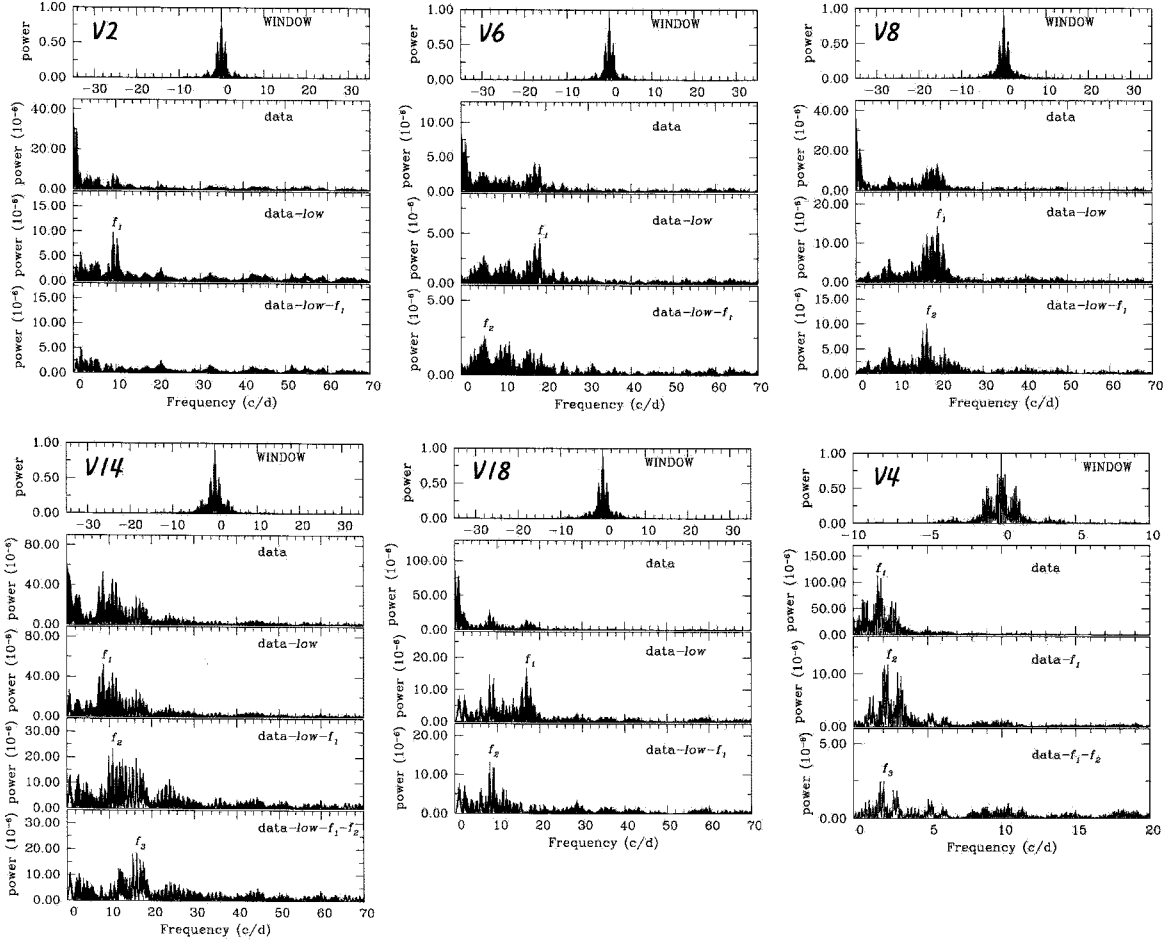


그림 4.—  $\delta$  Scuti형 변광성과  $\gamma$  Doradus형 변광성의 파워 스펙트럼. V4를 제외한  $\delta$  Scuti형 변광성에서는 약 하루 단위의 저주파수가 뚜렷이 나타나는데 관측일 간의 영점 변화에 따른 가짜 주기로 판단된다.

표 2.—  $\delta$  Scuti형 변광성과  $\gamma$  Doradus형 변광성의 주기 분석 결과.

No.	Value	Frequency <sup>a,b</sup>	Amp. <sup>b,c</sup>	S/N	Remarks
V2	$f_1$	9.370	0.012	5.9	
V6	$f_1$	18.389	0.008	6.9	
	$f_2$	5.413	0.006	5.3	
V8	$f_1$	19.248	0.014	9.3	
	$f_2$	16.763	0.013	7.7	
V14	$f_1$	8.558	0.024	7.4	
	$f_2$	10.736	0.020	4.9	
	$f_3$	16.321	0.020	4.4	
V18	$f_1$	16.865	0.016	8.1	
	$f_2$	8.175	0.017	7.2	
V4	$f_1$	1.616	0.044	33.5	$\gamma$ Dor
	$f_2$	2.318	0.014	10.8	
	$f_3$	2.029	0.006	5.0	

<sup>a</sup>: In cycles per day.

<sup>b</sup>:  $V = Const + \sum_j A_j \cos\{2\pi f_j(t - t_0) + \phi_j\}$ ,  $t_0 = \text{HJD } 2,452,000.00$ .

<sup>c</sup>: Total amplitude

소형망원경에 의한 관측자료의 질로 인하여 각 변광성의 정확한 주기를 모두 찾아내기는 어렵지만 위의 5개는  $\delta$  Scuti형 변광성의 특징을 잘 보여주고 있으며, V4는 주기와 진폭으로 보아  $\gamma$  Doradus형 변광성으로 분류하였다. 그림 5는 V4에서 검출된 주기에 대해 위상맞추기를 수행한 것이다. 제일 위에 있는 것은  $f_1$ 에 대한 것이며,  $f_1$ 에 대한 결과를 제거하면  $f_2$ 와  $f_3$ 를 차례로 얻을 수 있다.

### 3.2. 식변광성

그림 6는 표 1에 정리된 식변광성들을 나타낸 결과이다. V19는 EA형으로 보이며, 3번째와 5번째 관측일에 식이 일어나고 있다. 하지만 관측회수가 적어서 주기를 결정하기는 어려운 상황이다. V11은 약 0.76일의 주기를 가지고, 변광진폭도 0.6일로서 전형적인 EB형의 특징을 보인다. 나머지는 모두 EW형으로 보인다. 그러나 V16은 EW형 식변광성으로 추정은 되지만 정

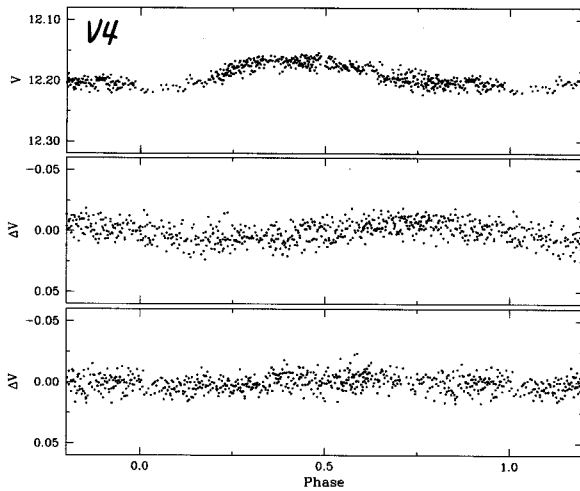


그림 5.— V4의 위상 맞추기 결과. 표 2의 세 주파수에 대해 위에서부터 차례로 나타내었다.

확한 주기를 결정하기가 어려워 맥동변광성을 포함한 다른 형태의 변광성일 가능성을 배제할 수 없다.

식변광성의 광도곡선에서 V19와 같은 EA형 변광성은 15등급 이하의 어두운 상황에서도 잘 검출이 되지만, V20, V21과 같은 EW 형태의 식변광성은 진폭이 큰 경우에 한 해 어렵게 발견되고 있다. 그림 6의 식변광성의 주기는 약 0.3일에서 1일까지 다양하게 분포하며, V19는 주기 결정을 못하였지만 1일 이상의 긴 주기를 가질 것이다.

### 3.3. 변광성 분류 및 주기 결정이 안되는 변광성

그림 7은 변광성 분류 및 주기 결정이 어려운 변광성의 광도곡선을 모은 것이다. 관측일수가 적어서 주기를 결정하기는 어렵고, 변광진폭도 구할 수 없으며, 단지 그림 7에서 뚜렷한 밝기 변화를 보이고 있는 변광성들이다. 이들은 그림 2의 CMD 상의 위치로 볼 때 V1은 Cepheid형 변광성, V7과 V12는 미라형 또는 변광하는 장주기 적색거성일 가능성이 있으며, 주계열 상에 놓인 나머지는 전혀 분류가 안된다.

## 4. 결론 및 토의

구경 155mm의 소형 굴절망원경으로 시험관측을 수행하여 모두 21개의 변광성을 검출하였다. 이들은 모두 GCVS (Samus et al. 2004)에 등록되지 않은 새로운 변광성이었다. 이들 중 5개는 SPVS의 주 관측 대상인 단주기 변광성으로서 모두  $\delta$  Scuti형 변광성이었다. 이렇게 많은  $\delta$  Scuti형 변광성이 발견된 이유는 관측영역이 은하면에 놓여 있어서 젊은 별이 많아서 빈도가 높은 것으로 볼 수 있겠다.

이 연구와 Jeon et al. (2004b) 등의 결과를 통하여 SPVS 관측 시스템은 단주기 변광성 검출에 아주 효과적임을 알 수 있다. 또한 최소한 2가지 이상의 필터를 이용한 칼라관측을 수행하면 변형된 앙상블 정규화 방법을 적용할 수 있고, 부수적으로 얻어지는 많은 식변광성의 특성연구와 EW형 식변광성과 유사한 단주기 맥동변광성의 구분(Jin et al. 2003, 2004)에도 이점이 클 것이다. 150초의 노출은 망원경의 추적 성능으로 인해 제한된 장기노출이지만 이 경우 약 9.5등급 보다 밝은 별은 관측이 어렵다. 따라서 밝은 별에 대해서는 10초에서 50초 사이의 단기노출을 병행하여 변광여부를 확인할 필요가 있겠다.

감사의 글: 이 연구는 한국과학기술원 주관의 한국 과학영재학교 2003년도 R & E 과제의 지원을 일부 받았습니니다.

## 참고문헌

- Akerlof, C., Amrose, S., Balsano, R., et al., 2000, ROTSE All-sky Surveys for Variable Stars. I., Test Fields, *AJ*, 119, 1901
- Breger, M., Stich, J., & Garrido, R., et al., 1993, Nonradial Pulsation of the Delta-Scuti Star Buncanri in the Praesepe Cluster, *A&Ap*, 271, 482
- Jeon, Y.-B., Nam, K.-H., Kim, S.-L., et al., 2004a, A New Field  $\delta$  Scuti Star : HD 235428, *PKAS*, 19, 27
- Jeon, Y.-B., Nam, K.-H., Park, Y.-H., et al., 2004b, A New Field  $\delta$  Scuti Star : GSC 03665-00576, *PKAS*, 19, 33
- Jeon, Y.-B., Kim, S.-L., Park, Y.-H., et al., 2005a, Short-Period Variability Survey (SPVS) in BOAO, *PKAS*, 20, 21
- Jeon, Y.-B., Lee, M. G., Kim, S.-L., & Lee, H., 2004c, SX Phoenixis Stars in the Globular Cluster NGC 5466, *AJ*, 128, 287
- Jeon, Y.-B., Park, Y.-H., Nam, K.-H., et al., 2005b, New Variable Stars around the Cepheid Variable TU Cas, *PKAS*, 20, 29
- Jin, H., Kim, S.-L., Kwon, S.-G., et al., 2003, Multi-band photometric re-classification of ROTSE-I  $\delta$  Scuti type stars, *A&Ap*, 404, 621
- Jin, H., Kim, S.-L., Lee, C.-U., Lee, D. J., & Kim, K.-S., 2004, Reclassification of ROTSE-I  $\delta$  Scuti type stars with Multiband photometry and Fourier Decomposition, *AJ*, 128, 1847
- Kim, S.-L. & Lee, S.-W., 1995, CCD Photometry of a Delta Scuti Star in an Open Cluster II. BT CNC in the Praesepe, *J. Korean Astron. Soc.*, 28, 197

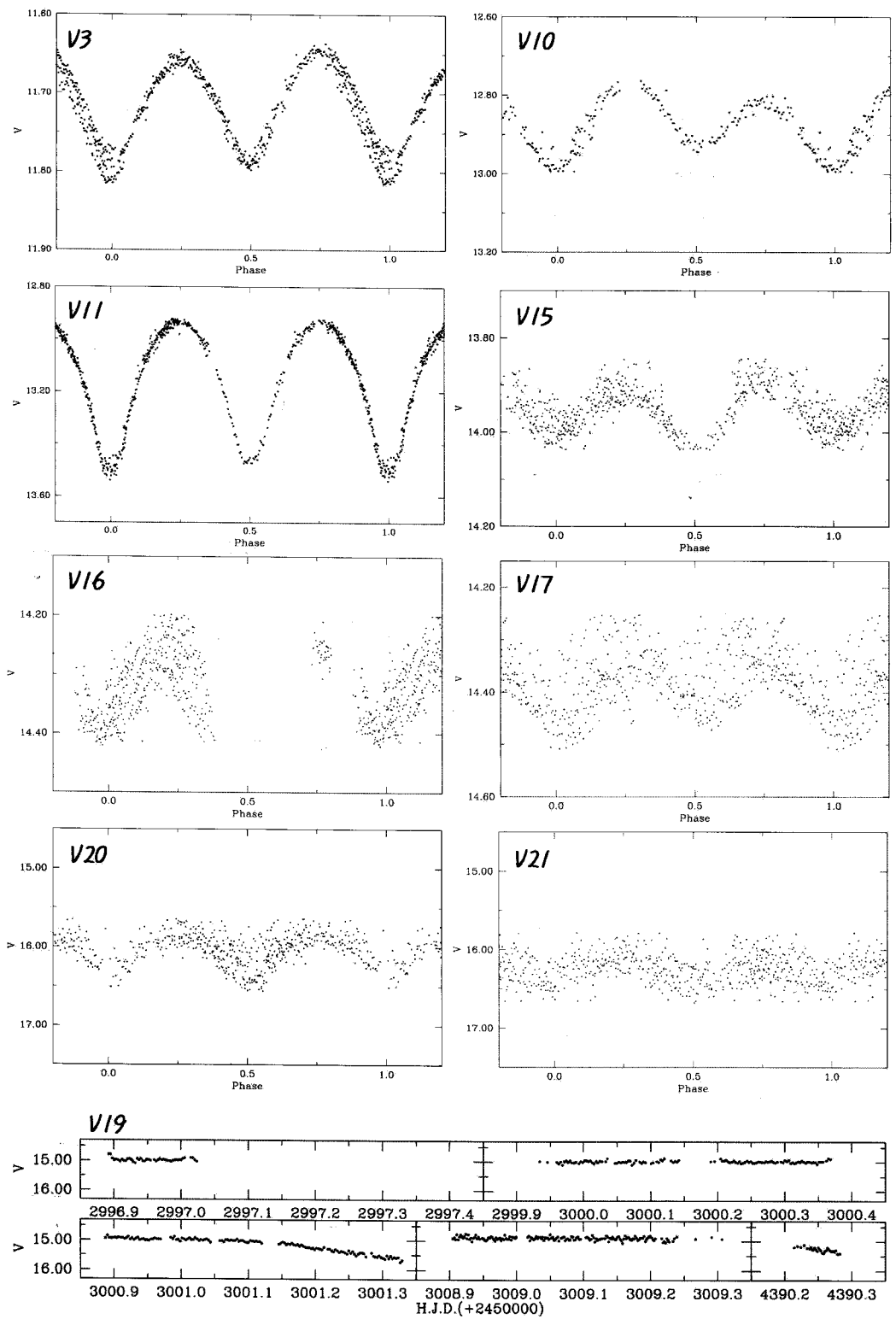


그림 6.— 식 변광성의 위상맞추기 결과와 위상맞추기가 어려운 식 변광성의 광도곡선(V19).

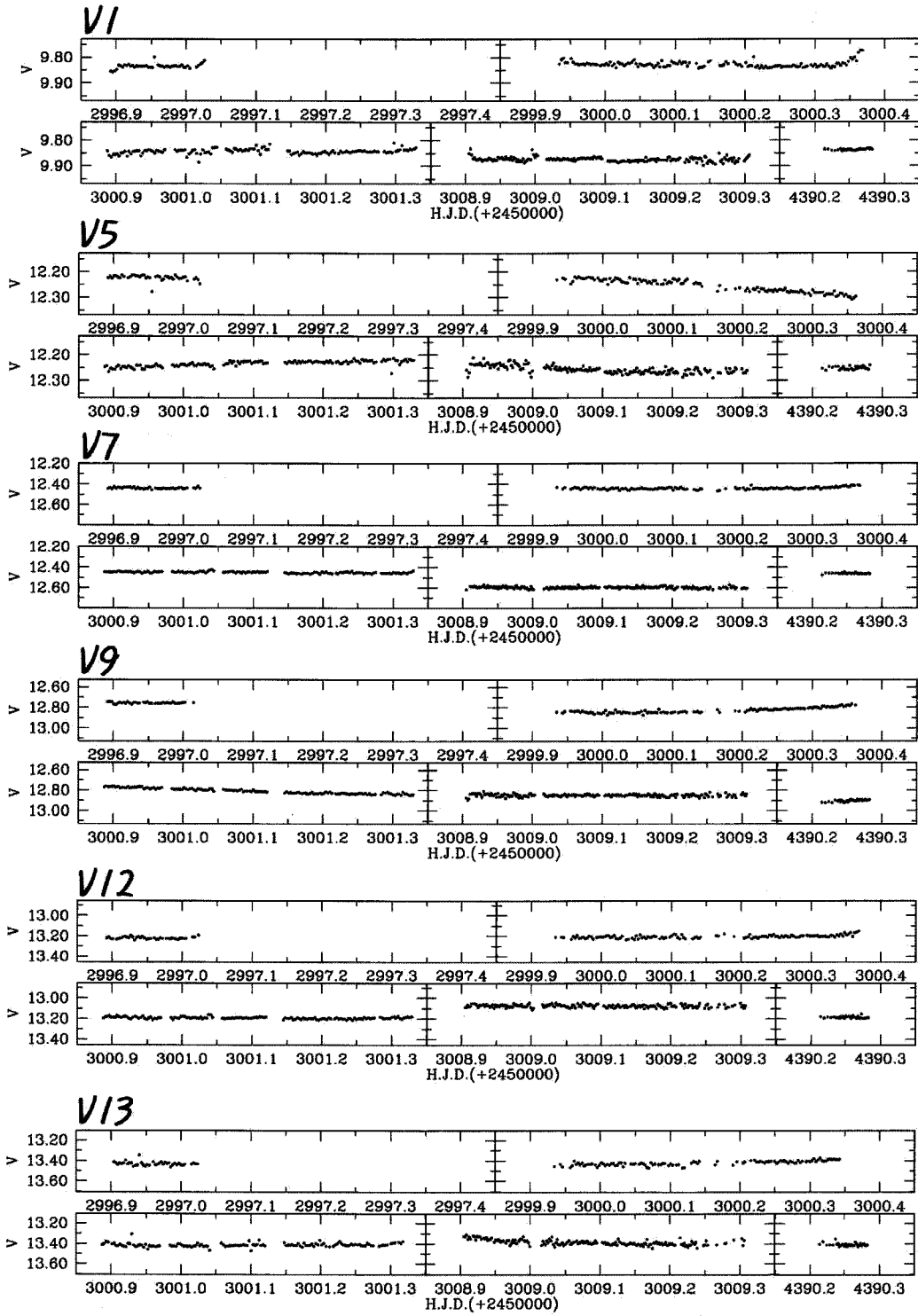


그림 7.— 변광성 분류 및 주기 결정이 안되는 변광성.



- Massey, P. & Davis, L. E., 1992, A User's Guide to Stellar CCD photometry with IRAF
- Samus, N. N., Durlevich, O. V., et al., 2004, Combined General Catalogue of Variable Stars (Samus+2004), VizieR Online Data Catalog, 2250
- Stetson, P. B., 1987, DAOPHOT - A computer program for crowded-field stellar photometry, PASP, 99, 191
- Woźniak, P. R., Vestrand, W. T., Akerlof, C. W, et al., 2004, Northern Sky Variability Survey: Public Data Release, AJ, 127, 2436